

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Неразрушающего Контроля  
Направление подготовки – Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка виртуального окружения для исследования системы поддержания равновесия человека</b>

УДК 004.946:612.88:616.281

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ51	Корженкова Екатерина Игоревна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель кафедры ПМЭ, доцент кафедры МБК СГМУ	Толмачев И.В.	к.м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Баннова К.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Губарев Ф.А.	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2017 г.

**Запланированные результаты обучения по программе**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</b>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять глубокие специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в инновационной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной биомедицинской и экологической техники	Требования ФГОС (ОК-2, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа и синтеза с использованием специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ОПК-1, 3; ПК-1 – 4), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Выбирать и использовать необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения инновационной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений	Требования ФГОС (ОК-9, ПК-10, 14, 18). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной биомедицинской и экологической техники конкурентоспособной на мировом рынке	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ПК-5 – 11, 14), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.3, 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением глубоких специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов в сложных и неопределенных условиях	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-5, ПК-1 – 4). Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.5, 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать глубокие знания в области проектного менеджмента для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты	Требования ФГОС (ОПК-2; ПК-14, 15). Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-

	интеллектуальной собственности	ACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем активно осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя команды, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении инновационных инженерных задач	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-3; ПК-3, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Демонстрировать глубокие знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Критерий 5 АИОР (п. 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2, 4; ОПК-4), Критерий 5 АИОР (п.5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки (специальность) -Биотехнические системы и технологии  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ф.А.Губарев  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ51	Корженкова Екатерина Игоревна

Тема работы:

<b>Разработка виртуального окружения для исследования системы поддержания равновесия человека</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 29.05.2017 г. № 3711/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Среда разработки Unity3D;</p> <p>Matlab 2014a;</p> <p>Устройство безмаркерного захвата движений Microsoft Kinect;</p> <p>Устройство безмаркерного захвата движения Leap Motion;</p> <p>Программное обеспечение для моделирования статистических выборок и расчета интегральной оценки.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Аналитический обзор методов оценки состояния системы равновесия человека</p> <p>2. Требования к системе оценки равновесия человека на основе виртуальной реальности и видеозахвата</p> <p>3. Программный комплекс для проведения неврологических проб в условиях сенсорной диссоциации с возможностью записи координат тела человека.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Финансовый менеджмент	Баннова Кристина Алексеевна
Иностранный язык	Ермакова Янина Викторовна

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Методы обработки данных</p> <p>Структурная схема комплекса для оценки функционального состояния механизма поддержания равновесия для различных систем визуализации виртуальной реальности</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<b>Задание выдал руководитель:</b>				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры ПМЭ	Толмачев И.В.	к.м.н.		

<b>Задание принял к исполнению студент:</b>			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ51	Корженкова Екатерина Игоревна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ДМ51	Корженковой Екатерине Игоревне

<b>Институт</b>	Неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	Промышленной и медицинской электроники
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Биотехнические системы и технологии

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ):	Затраты на выполнение НИИ включает в себя затраты на необходимое оборудование для научных работ, основную и дополнительную заработные платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИИ выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Инициация проекта	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИИ, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектам	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИИ, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя эффективности НИИ, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Карта сегментирования рынка
2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
3. График проведения и бюджет НИИ
4. Календарный план проекта
5. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Ганта)
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Баннова Кристина Алексеевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ДМ51	Корженкова Екатерина Игоревна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ДМ51	Корженковой Екатерине Игоревне

Институт	Институт неразрушающего контроля	Кафедра	Промышленной и медицинской электроники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Биотехнические системы и технологии

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Виртуальное окружение для оценки и исследования функционального состояния системы поддержания равновесия человека. Область применения - неврология.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отклонение показателей микроклимата производственных помещений;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– превышение уровня шума;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных излучений.</li> <li>– нервно-психические перегрузки</li> <li>– Электрический ток</li> </ul>
<b>1. Экологическая безопасность</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (отходы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (отходы)</li> </ul>
<b>2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Возможные ЧС на объекте: пожар</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Специальные правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ДМ51	Корженкова Екатерина Игоревна		

## ***РЕФЕРАТ***

Выпускная квалификационная работа 140 с., 50 рис., 24 табл., 50 источников, 1 прил.

Ключевые слова: виртуальная реальность, безмаркерный захват движений, Leap Motion, Kinect, биологическая обратная связь.

Объекты исследования: постуральные нарушения, система поддержания равновесия человека.

Цель работы – разработать виртуальное окружение для проведения исследований и оценки функционального состояния системы поддержания равновесия человека.

В процессе исследования проводились работы по разработке виртуальной управляемой среды для исследования системы поддержания равновесия человека.

В результате исследования разработан программный комплекс для визуализации управляемой среды для различных систем виртуальной реальности, разработанная среда виртуальной реальности интегрирована с системами безмаркерного захвата движений Kinect и Leap motion.

Основные конструктивные, технологические, и технико-эксплуатационные характеристики: условия эксплуатации – лабораторные.

Область применения: медицина (неврология, спортивная медицина, ортопедия)

Степень внедрения: использование разработки для оценки постуральных нарушений в лаборатории СГМУ.

Экономическая эффективность/значимость работы: информативный и мобильный метод диагностики нарушений равновесия, позволяет снизить трудозатраты и время исследований, по сравнению с аналогами является менее затратным.



### ***Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки***

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Виртуальная окружение** – смоделированная трехмерная среда, которая создается при помощи компьютерных средств и реалистично реагирует на взаимодействие с пользователями.

**Постуральные нарушения** – нарушения, связанные с сохранением позы и устойчивости при ходьбе, беге, вертикальной стойке и различных действиях.

**Стабилометрия** – метод исследования системы поддержания равновесия, заключающийся в определении координат центра давления тела человека для количественной оценки двигательных возможностей или для организации биологической обратной связи по опорной реакции для тренировок или реабилитации.

**Безмаркерный захват движений** – запись данных движения точек тела пользователя с помощью бесконтактных сенсоров (без каких-либо датчиков, отслеживающих движение и размещенных непосредственно на пользователе).

#### **Обозначения и сокращения**

ВР – виртуальная реальность

ВС – виртуальная среда

БОС – биологическая обратная связь

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты Национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
2. ГОСТ Р 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
3. ГОСТ Р 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
4. ГОСТ Р 2.316 – 2008 Единая система конструкторской документации. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
5. ГОСТ Р 7.05 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.
6. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
7. СанПиН 2.2.2/2.4.1240-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий"
9. СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
10. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
11. ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
12. ГОСТ Р 22.0.02-94 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях термины и определения основных понятий»
13. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 3 июля 2016 года)

14. Статья 221-225 ТК РФ «Обеспечение прав работников на охрану труда»
15. Статья 213 ТК РФ «Медицинские осмотры некоторых категорий работников»
16. Постановление Минтруда РФ и Минобразования РФ от 13.01.2003 № 1/29 «Об утверждении порядка обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций».
17. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

## Содержание

<b>Актуальность .....</b>	<b>14</b>
<b>1. Обзор источников</b>	
<b>литературы.....</b>	<b>16</b>
1.1. Механизмы сохранения и поддержания равновесия.....	16
1.1.1. Строение, функции, механизм действия вестибулярного аппарата.....	16
1.1.2. Проприоцепция.....	20
1.1.3. Зрительный анализатор.....	22
1.2. Равновесие.....	23
1.3. Расстройства функции поддержания равновесия.....	25
1.4. Виртуальная реальность.....	26
1.5. Существующие аналоги.....	29
1.5.1. Двигательно-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции.....	29
1.5.2. Метод количественной оценки нарушений вестибулярной функции.....	31
1.5.3. Система захвата движений рук Leap motion для оценки тремора.....	32
<b>2. Материалы и методы .....</b>	<b>35</b>
2.1. Средства разработки виртуального окружения.....	35
2.2. Устройства безмаркерного захвата движений.....	36
2.3. Программные средства для беспроводной работы с виртуальной реальностью.....	40
2.4. План исследования.....	43
2.5. Методы обработки данных .....	44
2.5.1. Интегральный критерий оценки состояния биосистем.....	44
2.5.2. Метод статистического моделирования.....	47
2.5.3. Обработка данных.....	49

<b>3. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение,</b>	
<b>ресурсоэффективность.....</b>	<b>54</b>
3.1.    Предпроектный анализ.....	54
3.2.    Инициация проекта.....	70
3.3.    Планирование управления научно-техническим проектом.....	73
3.4.    Оценка сравнительной эффективности исследования.....	81
Список публикаций студента.....	86

## Актуальность

Проблемы сохранения равновесия, ориентации, координации движений в вертикальной стойке, ходьбе и других действиях в существующих условиях технического прогресса занимают всё более значительное место. При этом различные виды патологии системы поддержания равновесия могут иметь крайне неблагоприятные последствия, например, привести к тяжелым производственным травмам.

В последние годы также возрос интерес врачей и исследователей к различным вестибулярным расстройствам. Причиной этому могут служить большая распространенность данного вида патологий, неспецифичность клинических проявлений, сложность в диагностике и лечении. Данные патологии вызывают потерю равновесия пациентом вследствие головокружения.

Нарушениями равновесия и координации движений сопровождаются такие заболевания ЦНС, как болезнь Паркинсона, рассеянный склероз, раннее выявление которых может улучшить качество жизни пациента, сохранить его работоспособность.

Среди методов, позволяющих диагностировать нарушения равновесия на раннем этапе наиболее распространенным и общепризнанным является метод *стабилометрии* (регистрация проекции общего центра масс тела человека, его перемещения во времени). Новым подходом является использование виртуальной реальности для создания управляемого визуального окружения. Данные воздействия вызывают явление сенсорной диссоциации, что дает возможность на практике изучить взаимодействие всех компонентов, входящих в состав системы поддержания равновесия тела человека (вестибулярный аппарат, зрительный анализатор, проприоцептивная чувствительность нижних конечностей (ступней)) и их влияние друг на друга.

Разработка виртуального окружения для использования в многопараметрической системе оценки функционального состояния системы

поддержания равновесия человека позволит в дальнейшем применять данный метод в условиях неврологического стационара для диагностики постуральных нарушений на ранней стадии, в спортивной медицине, для обследования летчиков, космонавтов, проведения предрейсовых осмотров и т.д.

Принципиальное значение в настоящее время имеют мобильность, малые габариты комплексов для оценки состояния системы поддержания равновесия, а также единый формат данных, получаемых для дальнейшей обработки. Поэтому необходимо использовать для создания таких систем беспроводных средств визуализации виртуальных сред, бесконтактные сенсоры для захвата движений.

Цель работы: разработка управляемого виртуального окружения для использования в многопараметрическом комплексе для проведения исследований и оценки функционального состояния системы поддержания равновесия человека.

Задачи:

- изучение отечественных и зарубежных источников литературы по существующим комплексам и методам диагностики и оценки нарушений равновесия с использованием виртуальной реальности
- Изучение методов математической обработки данных, получаемых при помощи разрабатываемого комплекса
- Проведение исследований с участием пациентов с неврологическими заболеваниями в условиях разработанной среды виртуальной реальности
- Разработка программного комплекса для визуализации управляемой среды для различных систем виртуальной реальности.
- Интеграция разработанной среды с системами безмаркерного захвата движений

## 1. Обзор источников литературы

### 1.1. Механизмы сохранения и поддержания равновесия.

Система поддержания равновесия человека представляет собой совокупность нескольких физиологических механизмов восприятия организмом окружающего пространства. Согласно [8] таких механизмов три: вестибулярный аппарат, зрительный анализатор и проприоцептивная чувствительность стоп. Все они взаимосвязаны и представляют собой единую систему. Рассмотрим данные механизмы подробнее.

#### 1.1.1. Строение, функции, механизм действия вестибулярного аппарата.

Вестибулярный аппарат (вестибулярный анализатор) – сенсорная система, обеспечивающая ориентацию в пространстве: восприятие действия на организм гравитации, положения тела, характера движения тела (вращение, ускорение, замедление), скорости и направления перемещения в пространстве. Вестибулярный анализатор приспособливает движения тела человека к постоянному влиянию земной гравитации.

Вестибулярный анализатор является частью внутреннего уха, которое располагается в пирамиде височной кости и делится на костный и перепончатый лабиринты [1]. Костный лабиринт внутреннего уха состоит из преддверия, трех полукружных каналов и улитки (рис.1).

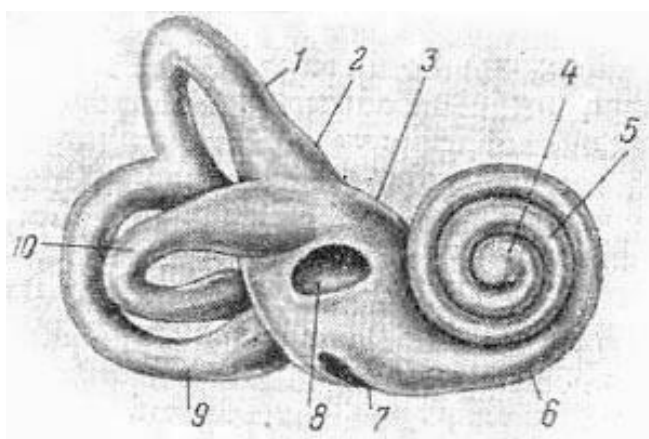


Рис. 1. Правый костный лабиринт.

Пояснения к рис. 1. 1 — фронтальный полукружный канал; 2 — ампула; 3 — преддверие; 4—6 — верхний, средний и основной завитки улитки; 7 —



круглое окно; 8 — овальное окно; 9 — сагиттальный канал; 10 — горизонтальный канал.

Внутри костных лабиринтов внутреннего уха расположены повторяющие их по форме, заполненные эндолимфой, перепончатые лабиринты. Промежутки между костными и перепончатыми лабиринтами заполнены перилимфой.

Улитка и находящийся в ней рецепторный аппарат слухового анализатора называются кохлеарным аппаратом.

Вестибулярный анализатор включает периферический аппарат, нервные проводящие пути, центральные подкорковые и корковые ядерные образования, комплекс ассоциативных связей, осуществляющих взаимодействие вестибулярного анализатора с соматической и вегетативной нервной системой, а также с другими анализаторами. Преддверие и полукружные каналы представляют собой *периферический отдел вестибулярного анализатора*. Ориентировка нашего тела в пространстве, поддержание равновесия в покое и при движении осуществляются в основном рецепторами вестибулярного аппарата — отолитовым и ампулярным аппаратом [2].

*Отолитовый аппарат* расположен в преддверии (части костного лабиринта), имеет два полостных образования перепончатого лабиринта: маточку (горизонтальное направление) и мешочек (вертикальное направление), заполненные эндолимфой. В нем имеется два рецепторных поля — макула мешочка и маточки, содержащие вторичные рецепторы: волосковые клетки, имеющие 40–110 микроворсинок. Они погружены в отолитовую мембрану (желеобразная масса). В каждой макуле имеются группы рецепторов с противоположно ориентированными волосками. Изменение линейного ускорения и силы тяжести воспринимается рецепторными волосковыми клетками пятен.

Возбуждение рецепторов вызывается сдвигом отолитовой мембраны, деформирующей микроворсинки.

Адекватные раздражители отолитового аппарата:

- 1) сила земного притяжения («ускорение силы тяжести»);
- 2) линейное ускорение (вертикальные колебания (порог различения ускорения 2–20 см/с));
- 3) центробежная сила.

Функции отолитового аппарата:

- 1) получение данных о положении головы в пространстве относительно силы тяжести;
- 2) получение данных о неравномерном движении тела;
- 3) функция восприятия звуковых сигналов (рудимент); рецепторы макул воспринимают звуковые колебания 30–40 дБ в случае разрушения улитки.

*Ампулярный аппарат* находится в полукружных каналах. Имеется три рецепторных поля в кристах ампул полукружных каналов: горизонтальном (латеральном), фронтальном (переднем), сагиттальном (заднем). Рецепторные поля состоят из вторичных рецепторов: волосковых клеток I и II типов. Реснички рецепторов погружены в желатинообразную массу – купулу, плотность которой равна плотности эндолимфы. Поэтому при линейном ускорении купулы, в отличие от отолитовой мембраны, не сдвигается. Возбуждение рецепторов вызывается деформацией ресничек при сдвиге купулы в направлении микроворсинок, тогда как сдвиг в противоположном направлении тормозит рецептор (механизмы возбуждения аналогичны таковым у рецепторов отолитового аппарата). Адекватным раздражителем ампулярного аппарата является угловое ускорение (порог  $\sim 0,005^\circ$ ), которое воспринимается в результате инерции эндолимфы. Основная функция ампулярного аппарата – информация о вращении головы и тела (изменение углового ускорения).

## **Роль вестибулярных рецепторов для поддержания позы тела**

Афферентные импульсы от вестибулярных рецепторов не дают абсолютного представления о пространственном положении тела, т.к. угол поворота головы за счет подвижного шейного сочленения не всегда соответствует положению корпуса. Поэтому при возникновении рефлексов в центрах ствола мозга (совместно с рецепцией вестибулярных нервов) используются афферентные импульсы с проприорецепторов шеи, которые информируют о положении головы. Вестибулярные импульсы поступают в таламус, затем к постцентральной извилине коры большого мозга, где поступившая информация анализируется, и создается представление об ориентации в пространстве [26].

## **Влияние раздражения вестибулярного анализатора на другие системы организма.**

Существует связь вестибулярной сенсорной системы со многими центрами спинного и головного мозга. Она вызывает ряд вестибуло-вегетативных и вестибуло-соматических рефлексов [4,5]. Раздражение вестибулярного анализатора вызывает изменения тонуса мышц и возникновение нистагма. Это особые движения глаз с целью сохранения изображения на сетчатке. Нистагм представляет собой произвольные движения глаз колебательного характера с высокой частотой (до нескольких сотен в минуту).

- Вестибуло-спинальные и вестибуло-мозжечковые рефлексы участвуют в перераспределении тонуса мышц с целью сохранения равновесия (предполагаемый медиатор в центральных синапсах – серотонин).
- Вестибуло-глазные рефлексy участвуют в движении глаз для сохранения изображения на сетчатке при изменении положения головы.
- Вестибуло-вегетативные рефлексy (болезнь движения) это комплекс разнообразных по проявлениям реакций, которые возникают при участии вегетативной нервной системы вследствие раздражения

вестибулярного аппарата. Они обеспечивают в норме необходимый уровень обмена веществ в мышечной системе. Осуществляют активацию дыхания, моторики желудка, потоотделения, диуреза и др. Они возникают при действии переменных ускорений частотой около 0,2 Гц, особенно в вертикальном направлении [2].

- Вестибуло-сенсорные реакции – иллюзия положения тела в пространстве, возникает головокружение.

Данные реакции возникают в связи с чрезмерным раздражением рецепторов вестибулярного аппарата, от них импульсация поступает к ассоциативным зонам коры больших полушарий.

При раздражении вестибулярного аппарата снижается возбудимость зрительной и кожной сенсорных систем, ухудшается точность движений, нарушается координация движений и походки, изменяется артериальное давление и частота сердечных сокращений, замедляются двигательных реакций, ухудшается чувство времени, меняются функции психики — внимание кратковременная память, оперативное мышление, эмоции. «Морская болезнь» (укачивание) – наиболее частое проявление. В условиях невесомости сначала нарушается анализ положения тела в пространстве из-за невозможности ориентации на гравитационную вертикаль в результате изменения импульсации с рецепторов отолитового (и ампулярного) аппарата. Нарушается взаимодействие между зрительным и вестибулярным анализаторами, развивается комплекс вестибуло-вегетативных реакций (болезнь движения). Навыки бега, ходьбы, наряду с состоянием нервной системы ухудшаются, возникает повышенная раздражительность, настроение нестабильно. Адаптация вестибулярного аппарата к невесомости развивается в течение нескольких дней в результате взаимодействия анализаторов на стволовом и корковом уровнях.

### **1.1.2. Проприоцепция.**

Вестибулярный аппарат не является единственным органом человека, ответственным за состояние равновесия. Он, как бы, координирует

вестибулярные функции еще нескольких органов, участвующих в поддержании равновесия. Кроме вестибулярного аппарата в поддержании правильного равновесия участвуют орган зрения и сигнализация с нервных окончаний, расположенных на периферии – проприоцептивная и тактильная чувствительность.

Следующим важным механизмом ориентирования человека и определения им положения своего тела в пространстве, является проприоцепция – способность к восприятию положения и перемещения в пространстве собственного тела или его конечностей по отношению друг к другу, воспринимать собственные движения и оценивать сопротивление совершаемым движениям [5]. Данный механизм создается рецепторным аппаратом (проприоцепторами) в мышцах, сухожилиях, надкостнице, капсулах суставов, коже: импульс от них поступает по крупным миелинизированным волокнам, проводящим с высокой скоростью, от периферических нервов к ядрам центральной нервной системы и далее через таламус в теменную долю головного мозга, где формируется схема тела [5,7].

### **Функции проприоцепции**

Проприоцепция обладает тремя качествами [5,6]:

- *ощущение положения конечностей* основывается на информации об углах в каждом суставе. Таким образом можно судить об относительном положении конечностей. Поскольку ощущение положения конечностей хорошо сохраняется, например, после долгого сна, оно незначительно подвержено адаптации.
- *ощущение движения* – проприоцепторами воспринимается скорость и направление движения при изменениях угла даже без зрительного контроля (например, сгибание/разгибание локтевого сустава). Порог восприятия движения определяется величиной и скоростью изменения суставного угла.
- *ощущение усилия* – оценка величины усилия мышц, необходимого для совершения определенного движения, а также

для сохранения положения сустава при сопротивлении движению.

При расстройствах проприоцептивной чувствительности нарушается ощущение пациентом положения и движений конечностей тела. Основными симптомами являются неспособность сохранять равновесие, в особенности, в темном помещении и с закрытыми глазами, нарушение тонких движений неустойчивая походка. При исследовании обнаруживаются также нарушенное ощущение положения суставов, снижение или отсутствие чувствительности к вибрации, ухудшение сухожильных рефлексов или отсутствие их в пораженных конечностях, неспособность удерживать равновесие в позе Ромберга [7]. При тяжелых расстройствах проприоцептивной чувствительности больной не может ходить и стоять без поддержки и даже сидеть без опоры. Такие больные глубоко инвалидизированы.

### **1.1.3. Зрительный анализатор**

Информация со зрительного анализатора первоначально регистрируется рецепторами сетчатки глаз и далее передается в две различные зоны головного мозга, специализирующиеся на анализе визуальной информации (идентификация объектов и контроля движения). Зрительные импульсы являются запускающим механизмом для активации мышц, участвующих в контроле над сохранением равновесия [10].

Таким образом, роль зрения в поддержании равновесия оказывается весьма значительной в физиологических условиях. Постуральный контроль у субъекта без вестибулярных нарушений осуществляется главным образом благодаря визуальным сигналам [11]. После разрушения вестибулярного аппарата и даже после почти полной утраты проприоцептивного восприятия человек может достаточно эффективно использовать зрительные механизмы для поддержания равновесия. Незначительное линейное или вращательное движение тела немедленно сдвигает изображение на сетчатке, и эта информация передается к центрам равновесия. За счет этого адаптивного

механизма больные с двусторонним разрушением вестибулярного аппарата сохраняют почти устойчивость до тех пор, пока их глаза открыты и все движения выполняются медленно. Но если движения быстрые или глаза закрыты, равновесие немедленно теряется.

Эффективность зрительного анализатора в контроле баланса зависит от визуальной активности, визуального контраста, дистанции до объекта и общей освещенности помещения (в условиях нормального зрения). Поэтому наилучшие условия для визуального восприятия при постуральном контроле создаются, когда расстояние до видимых ориентиров не превышает 2 метров [10,11].

Виртуальные среды могут вызывать конфликт между восприятием движения, созданным зрительной системой с вестибулярными и проприоцептивными входящими сигналами, указывающими на статическое состояние. Этот вестибулярно-визуально-проприоцептивный конфликт «нейронной избыточности» ослабляется или даже отсутствует, если существует острая сенсорная недостаточность, когда затрагивается постуральный контроль. Проведение исследований с использованием виртуального окружения могли бы позволить роль каждого потока сигналов (визуального, вестибулярного и проприорецептивного) в поддержании устойчивости и равновесия. С точки зрения диагностики такие подходы позволяют выявить процесс адаптации системы поддержания равновесия человека, то есть на раннем этапе обнаружить наличие компенсаторного процесса, усиливающего функцию зрительного анализатора в поддержании вертикального положения человека.

## **1.2. Равновесие и центр тяжести человека (центр давления)**

Равновесие тела — состояние покоя тела относительно какой-либо системы отсчета, в частном случае — неподвижность тела относительно окружающей его среды. Различают статическое и динамическое равновесие тела [1].

При статическом равновесии тела проекция общего центра тяжести тела находится внутри площади опоры. Согласно положениям статики в

вертикальной стойке равновесие человека считается неустойчивым, так как общий центр тяжести тела находится выше площади опоры. Сохранение равновесия возможно, пока вертикаль, опущенная из общего центра тяжести тела, находится внутри площади опоры, что определяет статическое равновесие тела. Поэтому чем больше площадь опоры, чем ближе расположен центр тяжести тела к центральной точке площади опоры и центральной линии центра тяжести, тем более устойчивым будет положение тела. Площадь опоры при вертикальном положении человека ограничена тем пространством, которое находится под подошвами и между стопами. Если проекция общего центра тяжести сместилась за границы площади опоры, например, при движении, то восстановить равновесие можно только путем балансирования, т. е. подводить площадь опоры под смещенную проекцию общего центра тяжести (динамическое равновесие тела). Общий центр тяжести тела объединяет в себе собственные центры тяжести каждой части тела. Центр тяжести тела – точка приложения равнодействующей сил тяжести.

Участие зрительного анализатора в сохранении равновесия тела связано, с одной стороны, с обеспечением зрительной ориентировки положения тела по отношению к окружающим предметам, а с другой,— с общим действием света как одного из важнейших факторов, определяющих уровень активности ЦНС. В связи с этим закрывание глаз приводит к возрастанию амплитуды колебаний тела, увеличивающейся также при надевании светонепроницаемых очков или при исследовании в затемненном помещении. Когда испытуемый находится в позе Ромберга — со сдвинутыми стопами, с закрытыми глазами и вытянутыми вперед руками, площадь опоры уменьшается, а вытянутые вперед руки создают большой опрокидывающий момент, что предъявляет повышенные требования к системе регуляции позы. В этих условиях закрывание глаз, вызывая дополнительные колебания тела, может приводить к явному нарушению равновесия тела и даже падению.



### **1.3. Расстройства функции поддержания равновесия (вестибулярного аппарата).**

Вестибулярные расстройства являются наиболее распространенными в медицинской практике. Они встречаются очень часто, особенно среди пациентов среднего и более старшего возраста и служат одной из основных причин падений пожилых пациентов, зачастую приводящих к травмам и представляющих серьезную угрозу для жизни людей этой возрастной категории [9].

Наиболее характерным клиническим проявлением вестибулярных заболеваний является головокружение, оно появляется при внезапном и асимметричном поражении вестибулярного аппарата, например, при выключении функции одного лабиринта или, напротив, при патологическом раздражении одного лабиринта, а также при одностороннем повреждении вестибулярных ядер. Среди наиболее часто встречающихся подобных заболеваний можно отметить доброкачественное пароксизмальное позиционное головокружение (ДППГ) вестибулярный нейронит, или инсульт в вертебробазилярной системе. Если вестибулярная система разрушается постепенно или страдают одновременно оба вестибулярных аппарата, то головокружение может отсутствовать. Пациенты испытывают различные симптомы: от неустойчивости и падений до утомляемости и нечеткости зрения. Так проявляется, в частности, невринома преддверно-улиткового нерва или двусторонняя вестибулопатия.

Болезнь Паркинсона - хроническое неврологическое заболевание, медленно прогрессирующее, характерное для лиц пожилого возраста. Относится к дегенеративным заболеваниям экстрапирамидной моторной системы. Заболевание связано с прогрессирующим разрушением и гибелью нейронов, вырабатывающих нейромедиатор дофамин (в чёрной субстанции и в других отделах центральной нервной системы). Для болезни Паркинсона характерны следующие двигательные нарушения: тремор, гипокинезия,

мышечная ригидность, поструральная неустойчивость, а также вегетативные и психические расстройства.

#### 1.4. Виртуальная реальность.

**Виртуальная реальность** – модельная трехмерная (3d) окружающая среда, создаваемая компьютерными средствами и реалистично реагирующая на взаимодействие с пользователями [13]. Виртуальная реальность (VR) часто характеризуется эффектами *присутствия* и *погружения*.

Эффект *присутствия* – иллюзия непосредственности или, иначе, «ощущение (пребывания) *там*», при этом человек мысленно игнорирует компьютер как посредник между ним и виртуальной реальностью. Эффект *погружения* – явление, когда пользователь воспринимает и обрабатывает не информацию, поступающую из внешнего (реального) мира, а стимулы виртуального окружения, и чем больше таких стимулов воспринимает пользователь, тем глубже погружение.

Основная задача виртуальной среды (VS) – замена реальной информации, поступающей на анализаторы пользователя данные, создаваемые компьютером.

Поскольку зрительный анализатор является одним из важнейших каналов получения данных об окружающей среде, в первую очередь рассмотрим создание изображений и способы замещения ими информации об окружающем мире, поступающей на него. Для создания виртуальной реальности может использоваться любой дисплей или аналогичное ему устройство вывода. Известна классификация, в соответствии с которой выделяют устройства с частичным погружением (не полностью изолирующие пользователя от внешнего мира) и устройства с полным погружением (пользователь находится в виртуальной реальности и полностью изолирован от внешнего мира).

Принцип действия всех средств вывода трехмерных сред основан на явлении стереопсиса – субъективном ощущением глубины пространства при бинокулярном зрении. Он возможен при дистанции с объектом не более 9-10

метров, поскольку если расстояние больше, разница между изображением объекта на сетчатке левого и правого глаза становится незначительной. Для этого необходимо посылать различные изображения на каждый глаз таким образом, чтобы на сетчатке они воспринимались как полученные с точки зрения именно этого глаза. Подобная задача реализуется либо за счет отображения картинки через два дисплея, каждый из которых виден только соответствующему глазу, либо за счет деления «общего» изображения так, чтобы каждый из глаз видел лишь то изображение, что предназначено именно ему.

Наиболее популярным средством воспроизведения виртуального окружения являются очки ВР.

Кроме зрительного канала в виртуальных средах также может использоваться слуховой анализатор. Для этого применяются наушники, а также системы объемного звучания.

Передовые системы виртуальной реальности в дополнение к зрительной и слуховой информации обеспечивают также тактильные и вестибулярные ощущения. Для этих целей применяются устройства с обратной связью (force feedback) – джойстики, рули и т.п.

Весьма эффективно применяются устройства с трекингом (отслеживанием перемещения головы), так как они позволяют естественным образом осуществлять изменение взгляда внутри ВС.

### **История технологического развития виртуальной реальности**

Имитационный летный тренажер Link Trainer, созданный в 1929 году Эдвином Линком, является первым прототипом системы виртуальной реальности. Это было устройство для обучения летчиков, при помощи имитации реальных условий полета. Летный тренажер обеспечивал синхронное воспроизведение кинокартинки и движение в трех осях [14].

Экспериментальный театр Sensorama разработан в 1957 году Мортоном Хейлингом. Представлял собой устройство, обеспечивавшее иллюзию реальности с помощью трехмерного фильма объемным звуком. Также

присутствовали запахи, вибрации кресла зрителя и имитировались порывы ветра. Разработка стала по сути первым прообразом системы виртуальной реальности полного погружения [14].

Первый прототип шлема виртуальной реальности был разработан в 1961 году. Головной дисплей Teleshare Mask представлял собой шлем с двумя установленными в нем широкоэкранными дисплеями, для обеспечения стереоэффекта и двумя динамиками, воспроизводящими стереозвук.

В 1968 году Айвен Сазерленд создал головной дисплей, где изображение визуализировалось с помощью компьютера (раньше шлем подключался только к камерам). Из-за большой массы устройства оно было подвешено к потолку. Компьютер формировал изображения и отображал их на экране в режиме «стерео», создавая иллюзию глубины. Одновременно с изображением воспроизводился стерео звук. В устройстве имелись датчики, отслеживающие положение головы пользователя, благодаря чему при повороте головы синхронно менялось изображение на экране дисплея [14].

Первой системой виртуальной реальности принято считать Aspen Movie Map (кинокарта города Аспен), созданную в 1977 году в Массачусетском Технологическом Институте и представлявшую собой симулятор движения автомобиля по улицам города [15].

С 1984 года, компания VRL (Visual Programming Language) Research, Inc. разрабатывала и выпускала устройства виртуальной реальности. Первая примитивная система виртуальной реальности, созданная в компании, состояла из разработанных там же шлема BP VRL HMD и перчаток BP VRL DataGlove, предназначенных для манипуляции виртуальными объектами в электронном пространстве.

Комната виртуальной реальности The Cave (Computer Assisted Virtual Environment) была создана в 1922 г. Дэном Сэндином, Томом Дефанти и Каролиной Круз-Нейра. Суть разработки заключалась в создании проекционной системы полного погружения. Система представляла собой небольшую квадратную комнату площадью 9 кв.м., на стены которой

проецировалось стереоскопическое изображение, пользователь, находясь в ней, ощущает себя внутри виртуального пространства. В настоящее время CAVE – стандарт систем виртуальной реальности полного погружения [14].

Первая российская конференция «Графикон» (1991 г.) положила начало исследованиям систем виртуальной реальности в нашей стране. На конференции были представлены доклады, посвященные проблемам визуализации. Институт физико-технической информатики (ИФТИ), разрабатывающий системы визуализации и виртуального окружения для российской космической и атомной промышленности, науки и образования был открыт в 1994 [15].

### **1.5. Существующие аналоги.**

В настоящее время представлены различные системы, использующие технологии виртуальной реальности для создания биологической обратной связи для управления состоянием пациента, однако основной задачей в большинстве научных работ, опубликованных в российских и зарубежных источниках, являлось исследование возможностей виртуального окружения для реабилитации больных с нарушениями равновесия. Системы для диагностики подобных патологий, аналогичные или близкие по характеристикам и функциональным возможностям к разрабатываемому комплексу, представлены в ограниченном количестве. Рассмотрим некоторые из них.

#### **1.5.1. Двигательно-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции.**

Эти тесты предлагаются для объективной оценки результата выполнения задания в системе с биологической обратной связью, где результат оценивается также по стабилметрическим показателям. Такие тесты могут быть *статическими* (оценивать способность удерживать позу) или *динамическими* (оценивать способность менять позу в соответствии с условиями) [17].

Биологическая обратная связь — обратная связь в условиях живого организма. Это метод обучения самостоятельному регулированию различных физиологических функций и движений посредством их визуального или звукового отображения в режиме реального времени.

К *статическим двигательно-когнитивным тестам с биологической обратной связью по опорной реакции* относятся компьютеризованные тесты типа «мишень», где выполнение двигательной (позной) задачи оценивается по стабилметрическим данным и результату выполнения инструкции (внешней задачи). Испытуемый при этом должен осуществлять визуальный или акустический, или смешанный (визуально-акустический), или иной по типу (например, тактильный) контроль центра давления на опорную поверхность по биологической обратной связи.

Тесты типа «*мишень*» позволяют оценивать состояние внимания, согласованность восприятия зрительного анализатора и мышечного контроля, общую эффективность выполнения целенаправленного действия при удержании неподвижной вертикальной позы. Еще одно достоинство таких тестов — повышенная чувствительность к изменениям функционального состояния, которые могут не проявляться явно в менее специфичных тестах [17].

Тесты типа «мишень» разработаны для применения:

- в медицинской практике (оториноларингология, неврология, психиатрия, наркология, травматология, др.) — для функциональной и реабилитационной диагностики;
- в психологической и педагогической практике — для количественной оценки состояния внимания;
- в спорте — для контроля функционального состояния спортсменов;
- в системах предрейсового и предсменного контроля.

### **1.5.2. Метод количественной оценки нарушения вестибулярной функции.**

В исследовании Меньшиковой Г., Ковалева А. и соавторов разрабатывается метод количественной оценки нарушения функции вестибулярного аппарата у спортсменов юношеского возраста при использовании технологии виртуальной реальности [18]. Исследуемая группа – 15 фигуристов в возрасте от 16 до 18 лет, контрольная группа – 15 студентов МГУ имени М.В. Ломоносова в возрасте 17-18 лет.

Исследование проводилось с использованием технологии виртуальной реальности CAVE. В состав устройства входят 4 квадратных больших плоских экрана, образующих куб (с отсутствующими верхней и задней стенкой). За ним находятся 4 проектора, каждый из которых проецирует изображение на соответствующий экран – 256 кругов синего цвета на фоне черного цвета, движущихся по траектории эллипсоидной формы с изменением угла наклона. Визуальное воздействие на испытуемого проводилось в положении стоя в середине установки в течение 2 минут.

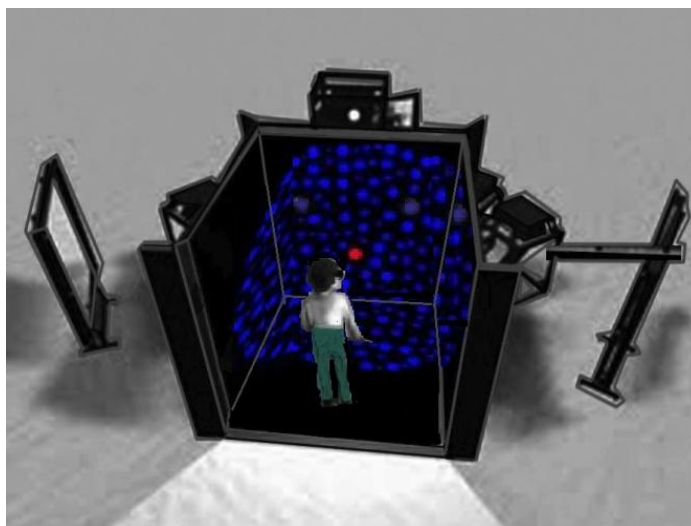


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки для количественной оценки нистагма

В результате воздействия у испытуемых возникал нистагм – колебательные движения глаза для стабилизации взгляда. Его можно рассматривать как механизм компенсации, отражающий степень развития функции вестибулярного аппарата. В качестве количественного индикатора

использования данного механизма в исследовании использовались показатели движений глаз, которые регистрировались с помощью очков SMI Eye Tracking Glasses.

Преимущество данного метода заключается в использовании беспроводных очков, однако недостатками являются высокая стоимость аппаратных средств визуализации виртуального окружения и отслеживания взгляда (последние версии SMI Eye Tracking Glasses имеют цены от 11900\$), а также габариты системы CAVE (длина стороны каждого экрана – 2,5 м).

### **1.5.3. Система захвата движений рук Leap Motion для оценки тремора**

C. Smith [19] и J. Güttler, R. Shah, C. Georgoulas, T. Bock [20], а также M.J. Johnson [21] исследуют в своих работах возможности оценки тремора рук с помощью устройства безмаркерного захвата движений рук Leap motion.

Разработка C. Smith представляет собой простое приложение, где от испытуемого требуется провести пальцем линию, держа руку над контроллером, при этом отслеживая местонахождение пальца на мониторе ПК (метод основан на используемом врачами тесте, где пациент рисует на листе бумаги, после чего нарисованный паттерн анализируется и сравнивается с образцом для количественной оценки тремора). После завершения, приложение рассчитывает средние показатели положения, отклонения, времени и т.д.

Также автором представлено приложение для расчета частоты тремора на основе фиксированного времени испытания. Испытуемый проводит рукой как можно более ровно над контроллером, отслеживаются движения ладони и каждого пальца. Затем производится частотный анализ.

J. Güttler и соавторы представили разработку, в которой данные о треморе рук и головы могут быть собраны с помощью человеко-машинного интерфейса, реализованного с помощью очков дополненной реальности Vuzix M100 и контроллера Leap Motion, данные, полученные с контроллера анализируются с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье. В очках дополненной реальности визуализируются текстовые инструкции для испытуемых.



M.J. Johnson сравнивает в своем исследовании данные о треморе рук пациентов с болезнью Паркинсона, полученные при помощи устройства Tremorometer и Leap motion. Tremorometer – прибор компании Flexible Systems (USA), предназначен для измерения и записи данных о движении пациента в трех осях, при необходимости можно объединить информацию от трех осей движения в одно измерение общего тремора движения, с помощью запатентованного алгоритма, позволяющего избежать артефактов, возникающих в результате вращения, ориентирования, и других. Применяется для отображения информации в графическом виде, и для передачи данных ПК для дальнейшего анализа, отображения, печати или хранения. Устройство состоит из тремор-датчика, микрокомпьютера и программ для работы с микрокомпьютером. Датчик тремора – это трех-осевой акселерометр, что соприкасается с пальцем пациента и передает измерения тремора в Tremorometer. Микрокомпьютер питается от батареи питания, ручной, автономный, программируемый [22].

Постуральные нарушения ослабляют способность ЦНС обрабатывать вестибулярные, зрительные и проприоцептивные сигналы, которые отвечают за чувство равновесия, снижают ее пластичность, в результате чего возникает адаптация к данному нарушению. Для ее выявления может использоваться явление сенсорной диссоциации – исключения из системы поддержания равновесия одного или нескольких компонентов [23].

Исходя из проведенного анализа источников отечественной и зарубежной литературы, можно сделать вывод, что возможности технологий виртуальной реальности активно исследуются, но данных о применении в диагностике нарушений равновесия систем с полным погружением в виртуальное окружение для возникновения явления сенсорной диссоциации и интеграцией устройств безмаркерного захвата движений нет.

## **2. Материалы и методы**

### **2.1. Средства разработки виртуального окружения.**

В данной работе требовалось создать виртуальное окружение, то есть 3D-среду, имитирующую реальное окружение пациента, используя которую, исследователь может проводить эксперименты по оценке функционального состояния системы поддержания равновесия. Необходимо, таким образом выбрать инструменты и программное обеспечение для создания 3D моделей и текстур, размещения их в виртуальной среде и создание конечного исполняемого файла для очков виртуальной реальности.

Пакет для компоновки моделей в виртуальную среду должен отвечать следующим требованиям:

1. Поддержка устройств визуализации виртуальной реальности (очков VR);
2. Поддержка устройств безмаркерного захвата движений для интеграции их в среду виртуальной реальности
3. Наличие достаточного количества документации и обучающей литературы;
4. Бесплатный доступ.

**Unity** - мультиплатформенная среда разработки 3D и 2D игр и приложений. Мультиплатформенный игровой движок, позволяющий создавать приложения для мобильных, настольных, консольных и веб-платформ, таких как Windows, Mac, iOS, Android, Xbox One и 360, Oculus Rift, Windows Phone8, PS 3, PS4 и т.д. Unity - инструмент для разработки интерактивного контента и применения его в различных областях деятельности, таких как создание игр и приложений, архитектуры и дизайна, онлайн-симуляторов для тренинга. Виртуальное окружение, созданное с помощью Unity, используется для подготовки специалистов в медицине и силовых структурах [24].

## 2.2. Устройства безмаркерного захвата движений

**Kinect** —сенсорный бесконтактный игровой контроллер, изначально созданный компанией Microsoft для консоли Xbox 360, а позже и для персональных компьютеров под ОС Windows. Kinect позволяет пользователю взаимодействовать с игровой приставкой без применения контактного игрового контроллера при помощи распознавания устных команд, поз тела и показываемых объектов или рисунков. Контроллер включает в себя два датчика глубины, цветную видеокамеру и микрофонную решетку. Специализированное ПО осуществляет полное трехмерное распознавание движений тела, мимики лица и голоса. Инфракрасный проектор, объединенный с монохромной КМОП-матрицей, представляет собой датчик глубины, это дает Kinect возможность получать 3D-изображение при любом естественном освещении. Сенсор автоматически калибруется, учитывая окружающие условия, диапазон глубины и программа проекта позволяет это сделать.



Рис.3. Устройство безмаркерного захвата движений Kinect for Windows

Для разработки собственных приложений предложены следующие бесплатные инструменты разработчика [25]:

- Kinect for Windows SDK. Содержит APIs и драйверы сенсора.
- Kinect for Windows Developer Toolkit. Содержит Kinect Studio, Face Tracking SDK, примеры кода и документацию.

Возможности Kinect:

- Skeletal Tracking (*отслеживание движений фигуры*)
- Face Tracking (*отслеживание движений лица*)
- Speech Recognition (*распознавание речи*)

## Потоки данных

На выходе Kinect for Windows имеет три потока данных: видеопоток (*Color Stream*), аудиопоток (*Audio Stream*) и данные дальномера (*Depth Stream*). SDK строится на этих потоках [25].

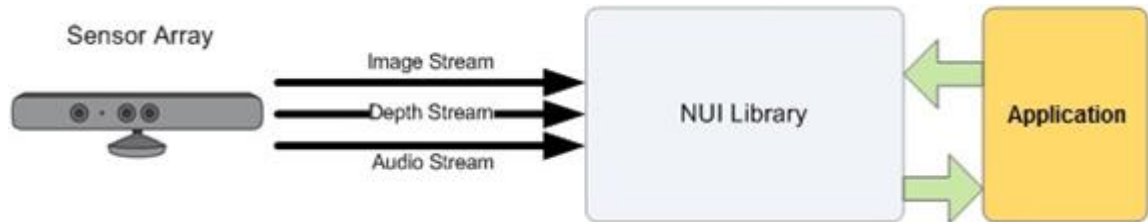


Рис. 4. Структурная схема, демонстрирующая обмен потоками данных от сенсора Kinect.

Используя Kinect, пользователь выбирает нужный сенсор и инициализирует требуемые потоки данных. Одновременно к ПК можно подключить до 4 устройств, которые можно перебрать с помощью класса KinectSensor [25].

## Видеопоток от сенсора

Возможно установить уровень качества и формата изображения при инициализации видеопотока. Количество и скорость передаваемых от датчика данных, ограниченная, в свою очередь, пропускной способностью интерфейса USB 2.0 зависят напрямую от этого. Например, для изображения разрешением 1280x960 количество кадров в секунду будет равно 12, а для изображения разрешением 640x480 – 30. Формат изображения определяется цветовой моделью и может быть либо RGB, либо YUV [25].

## Аудиопоток от сенсора

В составе Kinect находятся четыре встроенных микрофона, работающих на 24-битном АЦП, а встроенный обработчик звука способствует снижению шума и подавлению эхо. Каждый микрофон установлен так, чтобы иметь небольшую направленность. Оптимальное расстояние между говорящим и сенсором – 1-3 метра [25].

### *Поток данных дальномера от сенсора*

Поток формируется из кадров, в которых каждый пиксель содержит расстояние (в миллиметрах) от плоскости сенсора до ближайшего объекта в определенных координатах поля зрения камеры. Для потока данных дальномера имеется возможность ставить разрешение одного кадра, которое определяется перечислением `DepthImageFormat`. При частоте кадров 30 в секунду, разработчик может установить разрешения 80x60 (`Resolution80x60Fps30`), 320x240 (`Resolution320x240Fps30`) и 640x480 (`Resolution640x480Fps30`) [25].

### *Трекинг человеческой фигуры*

В поле зрения сенсора возможно распознавание до 6 человек, однако детальная информация определяется только для двух (по умолчанию) [25].

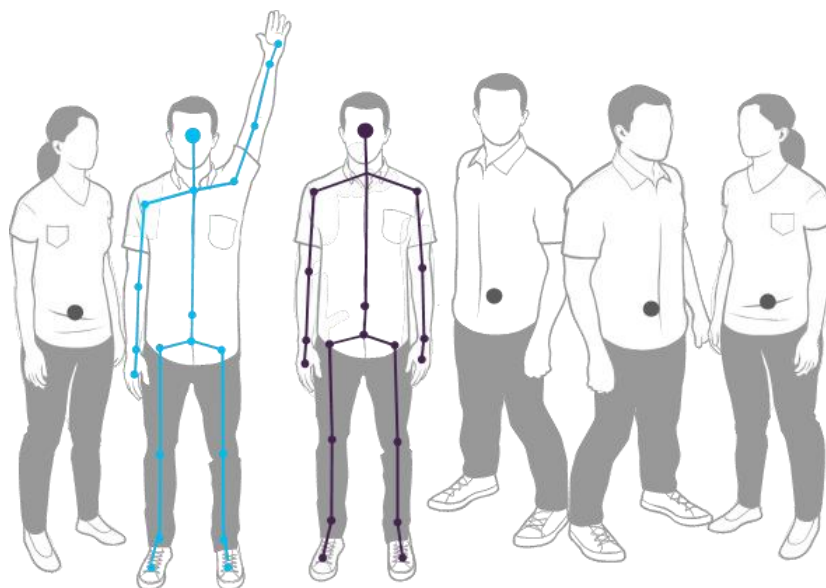


Рис. 5. Модели построения скелета с помощью Kinect.

Построенная модель скелета состоит из точек, которые называются `Joint`. Для получения информации о фигурах в кадре, необходимо включить нужный поток и обработать событие `SkeletonFrameReady`. Затем требуется извлечь из кадра информацию об интересующих фигурах. Каждой фигуре соответствует объект класса `Skeleton`, который хранит данные о состоянии трекинга — свойство `TrackingState` (построен ли полный скелет или же известно только о местоположении фигуры), данные об узлах фигуры — свойство `Joints`.

**Leap motion** — устройство безмаркерного захвата движений рук, состоящее из пары инфракрасных камер и светодиодов, работающих в инфракрасном диапазоне и подсвечивающих рабочую зону. Камеры отслеживают движение рук в рабочем участке пространства (область трехмерного взаимодействия имеет объем около  $227 \text{ дм}^3$ , условно имея форму виртуального куба со стороной 61 см). Данные передаются на ПК, к которому подключен контроллер с интерфейсом USB. Принятая информация обрабатывается с помощью специализированного ПО, результат произведенного действия отображается на экране монитора. Leap Motion распознает запястье, ладонь и пальцы двух рук по отдельности. Данная технология позволяет заниматься творчеством (например, рисовать, моделировать фигуры), организовывать физику взаимодействия аватаров рук с предметами в виртуальном окружении. Область обзора устройства  $120^\circ$  в глубину (по оси Z) и  $150^\circ$  в ширину (по оси X). Высота (по оси Y), составляет максимум 25 см с возможностью изменения в настройках программного обеспечения, поставляемого в комплекте.

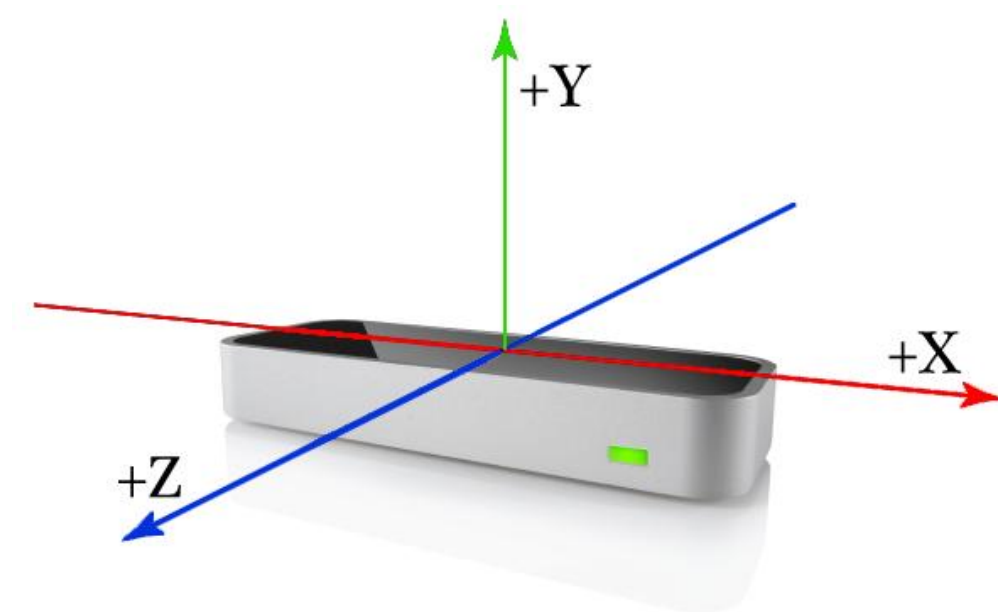


Рис. 6. Контроллер Leap Motion

Контроллер отслеживает движения пальцев с точностью до 0,01 мм [21,27]. Габариты Leap motion - 76x30,4x12,7мм, вес 45г. Leap Motion Controller

имеет преимущество в мобильности за счет минимальных габаритов перед Kinect.

Leap Motion способен распознавать движение пальцев более точно по сравнению с Kinect, что может быть использовано в применении к диагностике для оценки тремора рук больных с нарушениями равновесия (данный симптом наиболее распространен у пациентов с болезнью Паркинсона).

### **2.3. Программные средства для беспроводной работы с VR**

#### **а) VR Shinecon**

В качестве беспроводного аналога очков VR Oculus Rift выбираем наиболее оптимальный вариант – аналог Cardboard лучшего качества. Устройства такого типа используют в качестве источника трехмерного изображения смартфон

#### Преимущества перед Oculus Rift:

- Беспроводные
- без подключения к сети
- Мобильность
- бесплатные приложения
- Разрешение до 1920x1080
- Низкая стоимость

#### Минусы:

- необходим датчик гироскопа в смартфоне
- Хуже адаптирован к приложениям на ПК
- Требуется смартфон с высоким разрешением для лучшего качества картинки

#### **б) Kinoni VR**

ПО KinoVR от Kinoni обеспечивает воспроизведение и стерео-конвертацию изображения с ПК на смартфоне, превращая его в устройство виртуальной реальности, аналогичное Oculus Rift. Для начала работы требуется:

- Установить ПО на ПК (требования к процессору Intel Core i5 и выше, хорошие графические характеристики)
- Установить ПО на смартфон
- Запустить приложение, подключив ПК и смартфон к одной Wi-Fi сети
- Произвести настройку

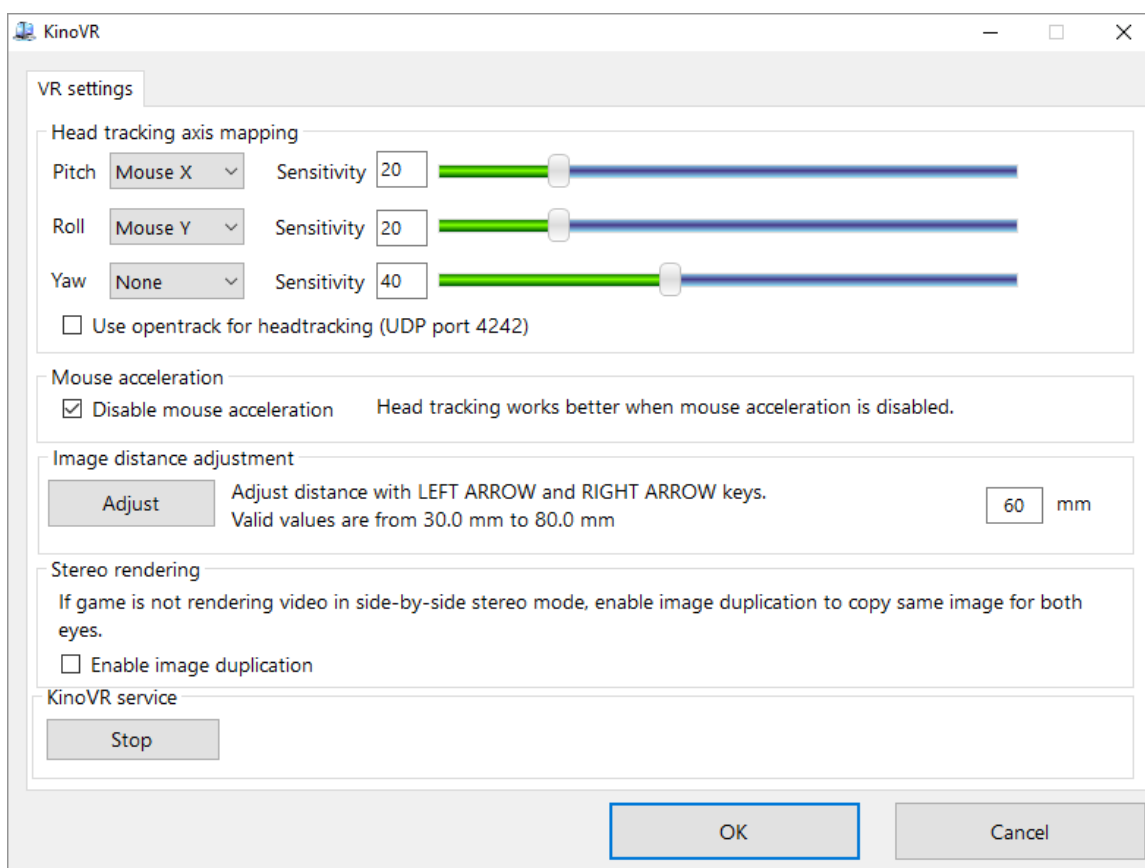


Рис. 7. Калибровка ПО для организации двухэкранного интерфейса с помощью смартфона для беспроводных очков VR.

- Откалибровать расстояния между линзами (без калибровки видео представляет собой 2 отдельные картинки, что вызывает неприятные ощущения у пользователя)

#### в) Программное обеспечение для отслеживания движений головы

Рассмотрим ПО, использующее технологию Google VR. Изначально использовалось устройство Cardboard, доступное любому желающему и удобное для разработки VR-мобильных приложений. В настоящее время Google VR переходит к более технически сложной и multifunctional платформе Google Daydream, включающей в себя очки VR для смартфона и



устройство-контроллер. Данная платформа имеет возможности для разработки в Android и iOS.

Интеграция с Google VR обеспечивает:

- Отслеживание положения головы пользователя.
- Обнаружение взаимодействия пользователей с системой.
- Автоматическая стерео конфигурация для конкретного устройства
- Коррекция искажений линзы
- Автоматическая коррекция дрейфа гироскопа.

Однако, все выше перечисленное позволяет увидеть, что несмотря на очевидную удобность и доступность данного ПО, могут возникнуть сложности с использованием этой технологии для десктопной версии VR-приложений, т.к. для подключения Google VR в Unity требуется сменить платформу в настройках компиляции на мобильную (Android).

В качестве альтернативы для решения данной проблемы было использовано ПО PC Remote.

## **2.4. План исследования:**

Исследования проводились на кафедре неврологии и нейрохирургии ГБОУ ВПО СибГМУ по следующему разработанному ранее сценарию:

Исследование проводилось в четыре этапа. На всех этапах испытуемый стоял в позе Ромберга: ноги вместе, руки подняты вперед перед собой параллельно земле.

1 этап. Испытуемый стоит в позе Ромберга с открытыми глазами 20 секунд, а затем с закрытыми глазами в течение ещё 20 секунд.

2 этап. Виртуальная реальность. Испытуемый надевал очки виртуальной реальности Oculus rift DK 2. Предложенной виртуальной реальностью для исследования являлась комната, в которой присутствует обруч с меткой. С помощью компьютера управляли движениями метки вправо, влево, вверх и вниз. Движения метки влево и вправо осуществлялись под углом  $90^\circ$  за 10 секунд. Задачей испытуемого было следить за движением этой метки 10 секунд и фиксировать на ней взгляд после её остановки, стоя в позе Ромберга в течение ещё 10 секунд.

Затем происходило движение метки вверх и вниз на 1.75 метра за 10 секунд. Задачей испытуемого было следить за движением этой метки 10 секунд и фиксировать на ней взгляд после её остановки, стоя в позе Ромберга в течение ещё 10 секунд.

3 этап. Виртуальная реальность. Испытуемый надевал очки виртуальной реальности Oculus rift DK 2. Предложенной виртуальной реальностью для исследования являлась комната, в которой присутствует обруч с меткой. С помощью компьютера моделировали наклоны комнаты вправо, влево, вверх и вниз. Наклон комнаты происходил мгновенно на  $30^\circ$ . Затем комната наклонялась на  $30^\circ$  мгновенно вверх и вниз. Задачей испытуемого было фиксировать взгляд на метке стоя в позе Ромберга в течение 20 секунд.

4 этап. Испытуемый стоит в позе Ромберга с открытыми глазами 20 секунд, а затем с закрытыми глазами в течение ещё 20 секунд.

## 2.5. Методы обработки данных

### 2.5.1. Интегральный критерий оценки состояния биосистем

Оценивать состояние системы  $S$  необходимо по отношению к референтному состоянию данной системы  $S_0$ . В данном исследовании референтным состоянием выбрана исследуемая группа из добровольцев без выявленных неврологических и двигательных нарушений. Пусть  $S_0$  и  $S$  заданные референтное и оцениваемое состояния, характеризуемые множеством объектов  $\{\vec{b}_j | j \in N_{S_0}\}$  и  $\{\vec{b}_i | i \in N_S\}$  соответственно. Данные состояния можно представить в виде точек, которые занимают некоторые области в одном и том же пространстве признаков [28]. Величина количественной оценки состояния некоторого объекта  $\vec{b}_i$   $S$  может быть охарактеризована его мерой близости к референтному состоянию  $S_0$ . При этом, выбирая меру близости, необходимо принимать во внимание конфигурацию области, занятой референтным состоянием, местонахождение объекта  $\vec{b}_j$  относительно ее в пространстве признаков, а также взаиморасположение объектов, представляющих референтное состояние системы. Учитывая данные требования, интегральный критерий оценки близости состояния объекта  $\vec{b}_i$  к состоянию  $S_0$  может быть записан как:

$$I_{S_0}(\vec{b}_i) = \frac{d(\vec{b}_i, S_0)}{D_{S_0}}, \quad (1)$$

где  $d(\vec{b}_i, S_0)$  – некоторая мера близости объекта  $\vec{b}_i$  к множеству  $S_0$ ,  $D_{S_0}$  – мера компактности области занимаемой в пространстве признаков, объектами относящимися к состоянию  $S_0$ .

Нормировка на величину  $D_{S_0}$  в выражении (1), учитывает вклад в полученную оценку, как конфигурации области  $S_0$ , так и взаиморасположения объектов в ней. На рис.8 изображен случай, когда игнорирование взаимного расположения объектов в областях, соответствующих состояниям  $S_1, S_2, S_3$ , будет приводить к одинаковой оценке близости объекта  $\vec{x}$  к каждому из этих состояний, если в качестве

$d(x, S_0)$  рассматривать, например, евклидово расстояние от объекта до центра области соответствующего состояния [28].

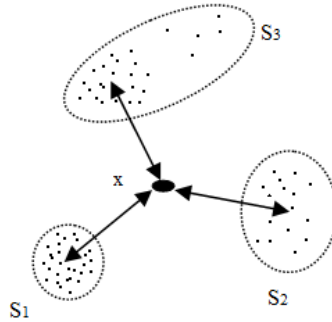


Рис. 8. Одинаковое расстояние от объекта до центров областей с различным взаиморасположением объектов

Оценка близости состояния  $S$  к состоянию  $S_0$ , будет являться некоторой функцией от совокупности оценок  $I_{S_0} \vec{b}_i$ , полученных для отдельных объектов  $\vec{b}_i$ . Достаточно часто хорошими оценками могут быть среднее

$$I_{S_0}(S) = \frac{1}{N_S} \sum_{i=1}^{N_S} I_{S_0}(\vec{b}_i), \quad (2)$$

или средневзвешенное значение оценки

$$I_{S_0}(S) = \frac{1}{N_S} \sum_{i=1}^{N_S} \omega_i I_{S_0}(\vec{b}_i), \quad (3)$$

где  $\omega_i$  - весовой коэффициент, характеризующий вклад  $i$ -го объекта в оценку состояния  $S$ .

Меру компактности  $D_{S_0}$  референтного состояния  $S_0$  зададим следующим образом:

$$D_{S_0} = \frac{1}{N_{S_0}} \sum_{k=1}^{N_{S_0}} \frac{1}{N_{S_0}-1} \sum_{j=1}^{N_{S_0}-1} d(\vec{b}_k, \vec{b}_j), \quad (4)$$

т. е., как усредненное расстояние средних расстояний от каждого объекта относящегося к состоянию  $S_0$  до всех оставшихся (рис.9).

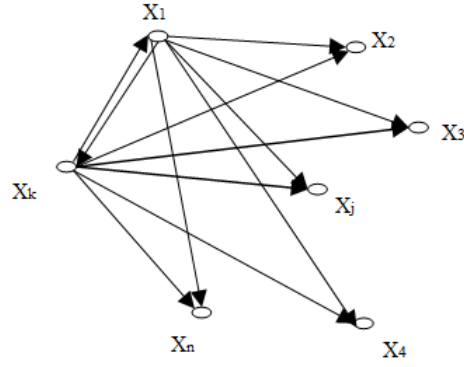


Рис.9. Определение внутримножественного расстояния

Так как слагаемое, оценивающее расстояние от объекта до самого себя, всегда равно нулю, выражение (4) принимает следующий вид:

$$D_{S_0} = \frac{1}{N_{S_0}} \sum_{k=1}^{N_{S_0}} \frac{1}{N_{S_0}-1} \sum_{j=1}^{N_{S_0}} d(\vec{b}_k, \vec{b}_j), \quad (5)$$

Определенная таким образом величина  $D_{S_0}$  представляет собой внутримножественное расстояние, конкретный вид которого будет определяться способом задания расстояния в пространстве признаков. В качестве меры близости объектов в пространстве признаков используется расстояние Махаланобиса. Его использование в биомедицинских задачах является достаточно эффективным, поскольку при этом естественным образом учитывается взаимозависимость признаков, характеризующих биосистемы [29]. Расстояние Махаланобиса между  $k$ -м и  $i$ -м объектами, относящимися к состоянию  $S_0$  определяется следующим образом [28]:

$$d_m(\vec{b}_k, \vec{b}_i) = (\vec{b}_k - \vec{b}_i)^T * C_0^{-1} * (\vec{b}_k - \vec{b}_i), \quad (6)$$

где  $C_0$  - матрица ковариации признаков, характеризующих состояние  $S_0$ , элементы  $C_{0,l,h}$ , которой определяют ковариацию  $l$ -го и  $h$ -го признаков:

$$C_{0,l,h} = E^*(x_{k,l} - x_{i,l}) * (x_{k,h} - x_{i,h}), \quad , h = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где  $E$ - математическое ожидание,  $m$ - размерность вектора признаков.

Количественная оценка меры компактности области характеризующей состояние  $S_0$  в метрике Махаланобиса будет равна удвоенной размерности пространства признаков:

$$D_{S_0}^* = D_{S_0} = 2m, \quad (8)$$

В таком случае, величина интегральной оценки близости объекта  $\vec{b}_i$  к референтному состоянию имеет вид:

$$I_{S_0}(\vec{b}_i) = \frac{1}{2m} * d(\vec{b}_i, S_0), \quad (9)$$

в котором  $d(\vec{b}_i, S_0)$  рассчитывается как усредненное расстояние Махаланобиса от объекта  $\vec{b}_i$  до  $S_0$ :

$$d(\vec{b}_i, S_0) = \frac{1}{N_{S_0}} \sum_j^{N_{S_0}} d_M(\vec{b}_i, \vec{b}_j), \quad (10)$$

вычисленное с использованием матрицы ковариации соответствующей состоянию  $S_0$ .

Следовательно, интегральный критерий рассчитывается по формуле:

$$I_d(x) = \frac{1}{N_{S_0}} \sum_j^{N_{S_0}} (\vec{b}_k - \vec{b}_i)^T * C_0^{-1} * (\vec{b}_k - \vec{b}_i) \quad (11)$$

### 2.5.2. Метод статистического моделирования

Метод статистического моделирования или метод Монте-Карло широко применяют в экспериментальных исследованиях с использованием компьютерных моделей. Статистическое моделирование представляет собой метод получения статистических данных о процессах, происходящих в изучаемой системе, с помощью компьютерных моделей [30].

Результатом статистического моделирования системы  $S$  является совокупность значений искомых величин или функциональных зависимостей, дальнейшая статистическая обработка которых позволяет получить сведения о поведении проектируемого объекта или процесса. В случае, когда полученных значений  $N$  достаточно много, результаты моделирования системы становятся статистически устойчивыми, могут быть

взяты в качестве оценок искомых функциональных характеристик или качества системы  $S$  с достаточной точностью[31].

Метод статистического моделирования может быть использован в экспериментальных исследованиях с малым объемом выборки для получения устойчивых интегральных оценок состояния системы. В этом случае происходит оценка статистических параметров исходной выборки малого объема, таких как среднее значение, коэффициент вариации и других. Исходя из анализа параметров, моделируется выборка с такими же статистическими параметрами, но большим объемом, по сравнению с исходной выборкой.

Основные этапы статистического моделирования представлены на рис. 10.

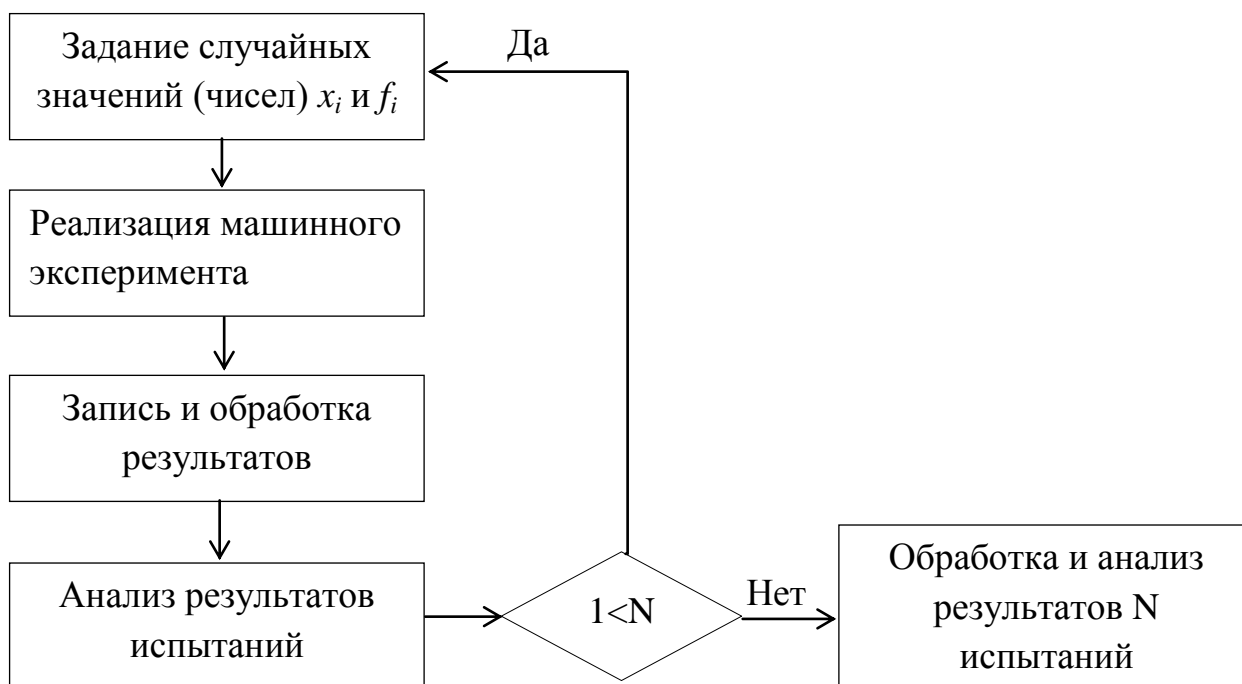


Рис. 10. Блок-схема этапов статистического моделирования

В проведенном исследовании расчет интегральной оценки состояния биосистем на основе статистического моделирования данных референтных выборок был реализован с помощью программного продукта StatSys, разработанного на кафедре медицинской и биологической кибернетики СибГМУ [32]. Данная программа служит для проведения исследований,

позволяя, путем задания множества показателей и атрибутов состояния, формировать массивы референтных данных из результатов проведенных ранее экспериментов. В программу встроена процедура статистического моделирования данных, позволяющая оценивать точность получаемых оценок состояния биологических систем при малых объемах референтных выборок (рис. 11).

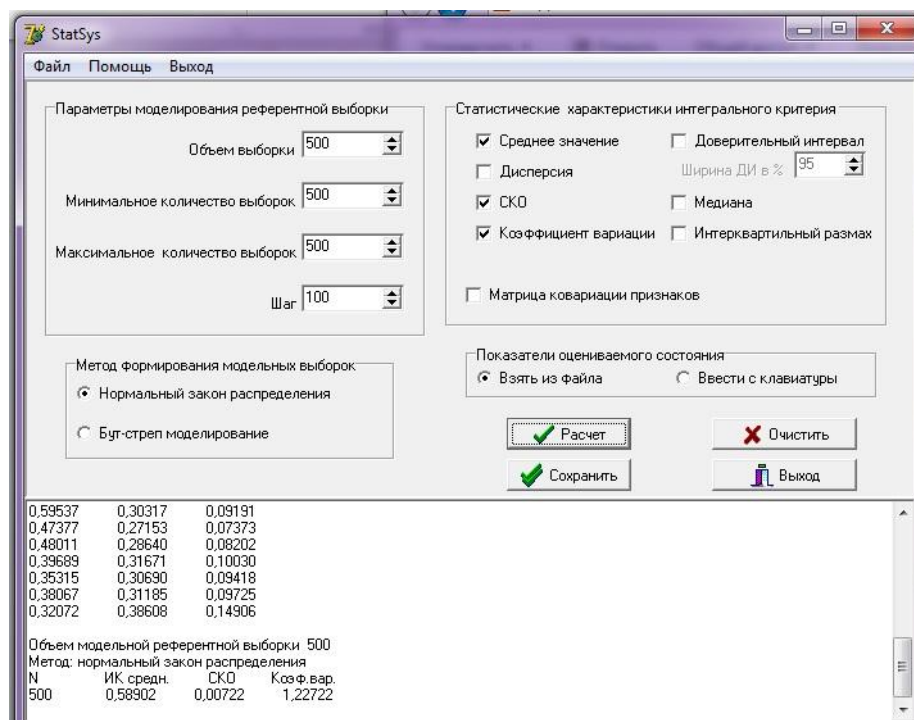


Рис.11. Окно модуля статистического моделирования и оценки состояния

### 2.5.3. Обработка данных

Начальными данными для расчета интегрального критерия являются траектории движения точек тела у пациентов с болезнью Паркинсона и с рассеянным склерозом в условиях виртуального окружения. Траектории движения точек тела в виде трехмерных координат были получены путем бесконтактного захвата движения, с помощью сенсорного контроллера Kinect. Для исследования были взяты 4 точки: две периферические точки – кисти правой и левой рук, и две центральные точки – голова и центр тяжести. Данная база трехмерных координат подготавливалась для дальнейших расчетов.



Принятый ранее для получения и анализа интегральных критериев алгоритм обработки выглядел следующим образом.

**Исходный алгоритм обработки данных:**

1. Данные с контроллера Kinect записываются на компьютер в формате (.bvh).
2. С помощью программы MATLAB R2012b и приложения Viewer, необходимого для считывания данных и их визуального отображения, выделяются необходимые для расчетов фрагменты данных (рис. 12).

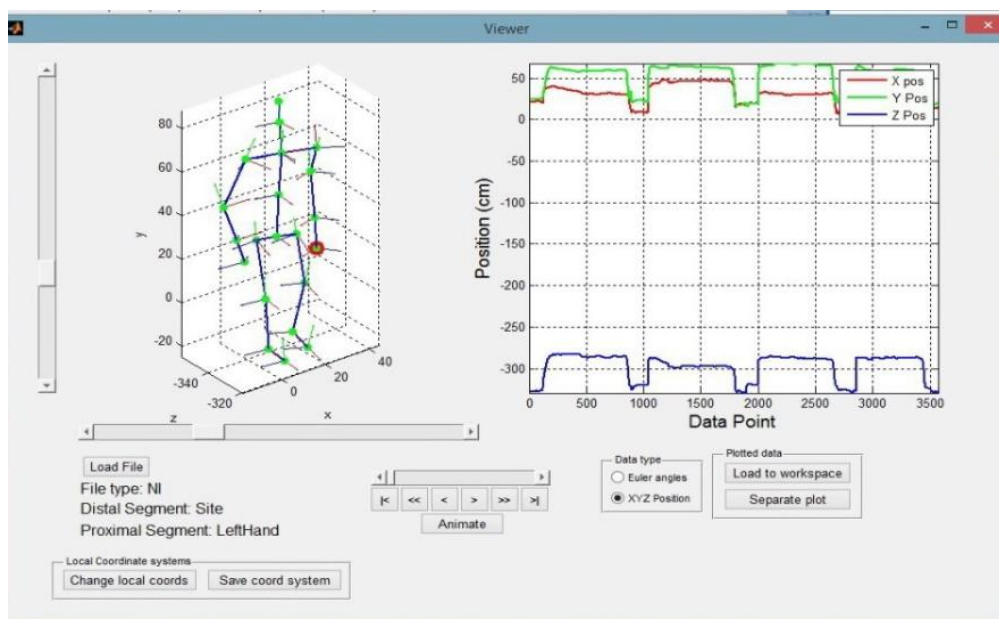


Рис. 12. Отображение полученных данных в приложении Viewer

3. Полученные табличные данные трехмерных координат четырех выбранных точек тела переводятся в формат Excel (рис. 13). Для дальнейшей обработки были выбраны координаты, полученные с помощью Kinect в течение 10 секунд от начала.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Левая рука			Голова			Центр тяжести			Правая рука		
2	t	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
3	0	13,58755	106,6991	-302,205	-0,43889	102,057	-364,247	-4,91407	62,35227	-351,86	-25,1675	108,3104	-301,354
4	0,07	13,5916	106,7417	-302,285	-0,45907	102,1211	-364,086	-5,04657	62,31297	-352,078	-25,1989	108,3738	-301,393
5	0,133333	13,78485	106,9394	-302,195	-0,47042	102,0255	-363,949	-4,95564	62,32212	-351,48	-25,1298	108,5859	-301,256
6	0,2	13,88082	106,9345	-302,26	-0,41	102,0264	-363,935	-4,85201	62,21221	-351,868	-25,1004	108,5792	-301,312
7	0,27	13,88599	106,9358	-302,269	-0,39334	101,9231	-363,936	-4,82519	62,15888	-351,68	-25,2431	108,634	-301,31
8	0,333333	13,84529	106,8869	-302,316	-0,34614	101,8291	-363,882	-4,8579	62,05152	-351,708	-25,1522	108,6509	-301,301
9	0,4	13,90839	106,8539	-302,299	-0,31059	101,8183	-364,082	-4,89162	62,12812	-351,658	-25,1579	108,6509	-301,345
10	0,466667	13,90387	106,8076	-302,265	-0,33007	101,9018	-364,17	-4,94332	62,28294	-351,508	-25,424	108,7812	-301,341
11	0,53	13,90097	106,8341	-302,294	-0,3226	101,8224	-364,279	-4,99526	62,28486	-351,387	-25,59	108,8449	-301,385
12	0,6	13,73612	106,7765	-302,293	-0,28757	101,8144	-364,148	-4,91968	62,30501	-351,106	-25,8716	108,8475	-301,316
13	0,666667	13,75675	106,8437	-302,291	-0,28373	101,8823	-364,162	-4,8866	62,40319	-351	-25,8281	108,9385	-301,293
14	0,73	13,7555	106,9119	-302,24	-0,2708	101,976	-364,246	-4,61044	62,59016	-350,694	-26,0076	109,1075	-301,177
15	0,8	13,81304	106,9922	-302,251	-0,18862	102,0828	-364,456	-4,4184	62,66322	-351,021	-26,0632	109,1475	-301,245
16	0,866667	13,79589	107,0381	-302,283	-0,12221	102,1594	-364,49	-4,32846	62,67794	-351,264	-26,1491	109,1968	-301,326
17	0,933333	13,79638	107,1475	-302,286	-0,10136	102,0761	-364,497	-4,34553	62,60038	-351,273	-26,2213	109,2329	-301,421
18	1,00	13,89304	107,2809	-302,343	-0,11997	101,9407	-364,577	-4,36503	62,5805	-350,987	-26,1844	109,4029	-301,485

Рис. 13. Таблица с исходными данными

4. Перевод данных в текстовый файл (.txt).
5. Расчет средних показателей группы производился с интервалами усреднения 1 и 2 секунды с помощью компьютерной программы, которая была разработана на кафедре медицинской и биологической кибернетики СибГМУ [32]. Окно программы представлено на рисунке 14.

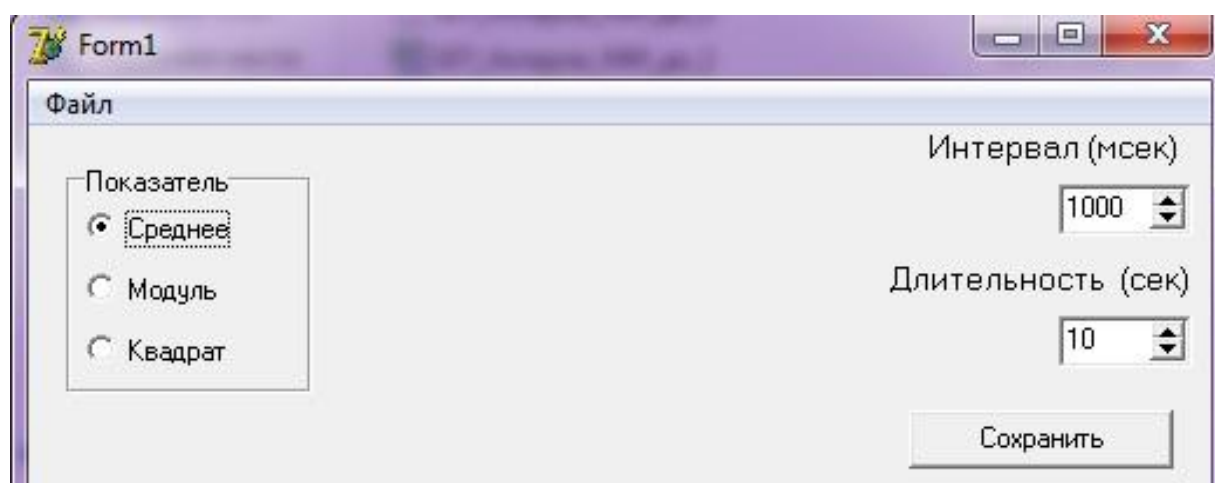


Рис. 14. Программа для расчета усредненных значений координат

Расчет интегрального критерия осуществляется с помощью компьютерной программы StatSys разработанной на кафедре медицинской и биологической кибернетики СибГМУ [32]. Программа представляет собой окно с несколькими функциональными модулями, которые позволяют изменять необходимые для расчетов значения. Слева расположен модуль параметров моделирования референтной выборки. С его помощью, можно задать интересующий нас объем референтной выборки, минимальное или

максимальное количество выборок, а также и применяемый метод статистического моделирования. Правый модуль позволяет задать статистические характеристики для оценки свойств интегрального критерия. Нижняя часть окна представляет собой окно вывода результатов, в котором протоколируются все промежуточные результаты статистических расчетов.

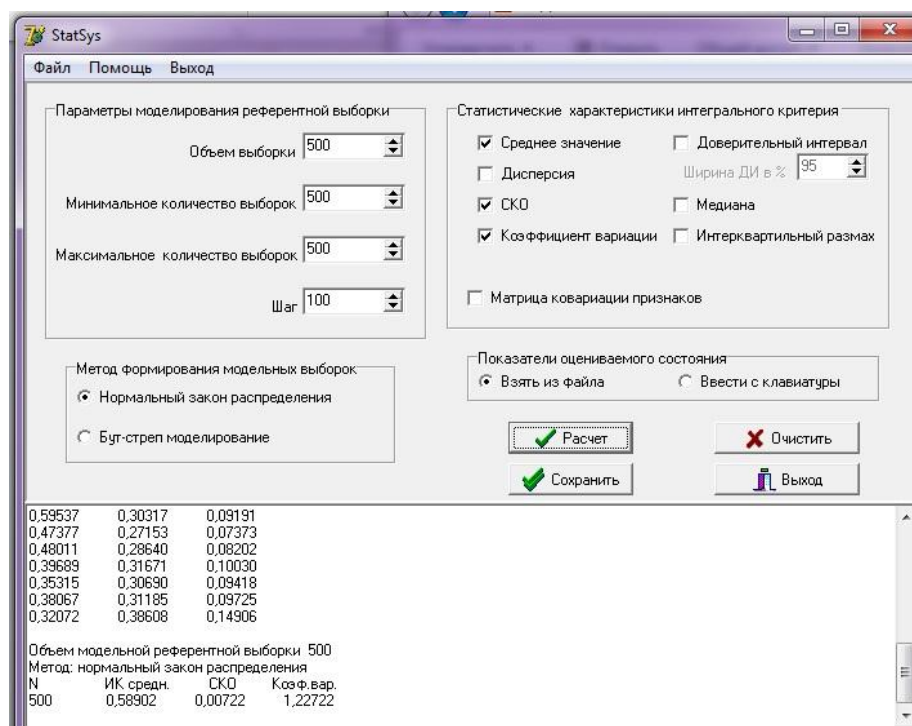


Рис. 15. Окно программы StatSys

6. Полученные расчеты сохраняются в формате .dat, в файле по столбцам располагаются координаты вектора состояния оцениваемой точки, а по строкам пациенты. Вид файла представлен на рисунке 16.

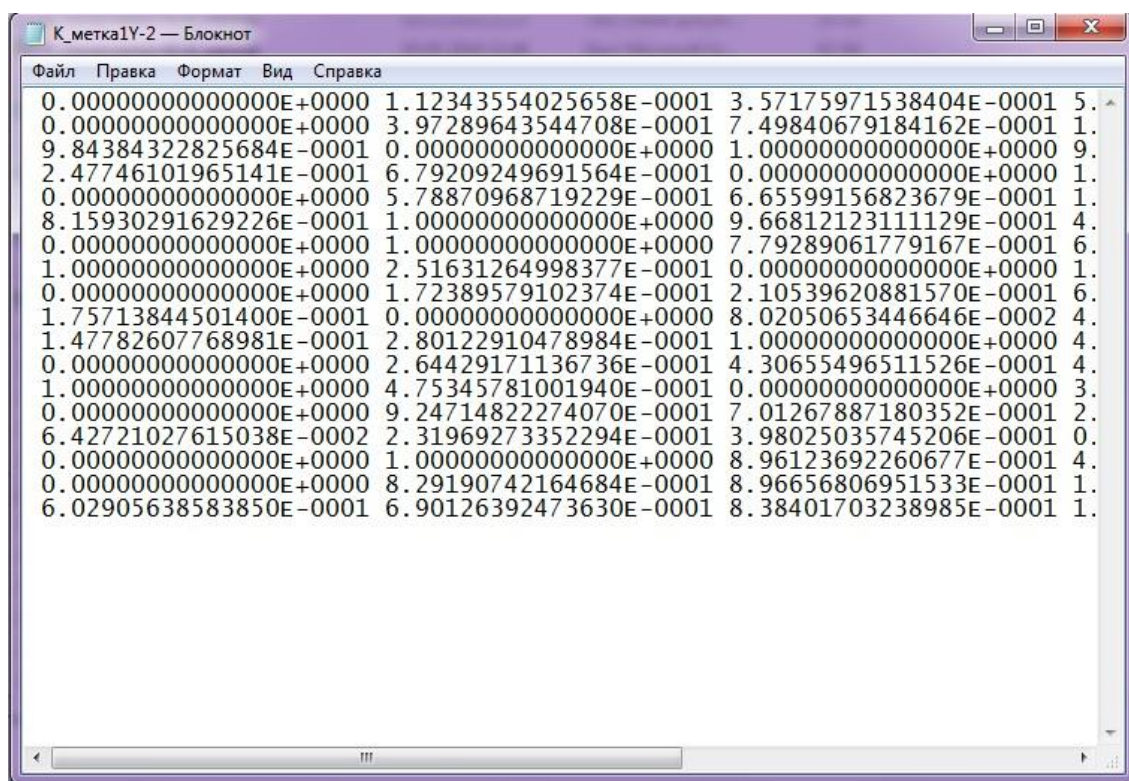


Рис. 16. Файл формата .dat.

Таким образом, данные были подготовлены к дальнейшей обработке.

После введения в сцену исходного проекта модуля, работающего на ином программном обеспечении для Kinect, данное устройство безмаркерного захвата в настоящее время автоматически записывает координаты положения точек тела пациентов в пространстве в файлы Excel Microsoft с разрешением .csv, в котором информация находится непосредственно в виде сохраненных значений координат по осям x,y,z, файл записывает изменения координат отдельной точки. Таким образом, в результате исследования одного пациента записывается 20 файлов, содержащих информацию о положении координат точек тела пациента в соответствии с создаваемой Kinect 20-сегментной моделью скелета.

Введение данного модуля в процесс записи данных позволит в дальнейшем сократить исходный алгоритм, переходя от пункта 3 сразу к расчету усредненных значений и далее интегральных критериев. Не требуется предварительной подготовки данных.

Вид таблицы с данными показан на рисунке 17.

	1	2	3	4	5	
1	time	joint	pos_x	pos_y	poz_z	
2	5.457	3	-0.233	1.604	2.673	
3	5.512	3	-0.233	1.604	2.673	
4	5.566	3	-0.233	1.604	2.673	
5	5.617	3	-0.231	1.598	2.669	
6	5.669	3	-0.229	1.594	2.666	
7	5.743	3	-0.229	1.594	2.667	
8	5.800	3	-0.229	1.595	2.668	
9	5.858	3	-0.229	1.596	2.669	
10	5.921	3	-0.229	1.596	2.670	
11	5.977	3	-0.230	1.597	2.670	
12	6.031	3	-0.230	1.598	2.671	
13	6.084	3	-0.230	1.598	2.672	
14	6.140	3	-0.230	1.599	2.672	
15	6.192	3	-0.230	1.598	2.672	
16	6.247	3	-0.230	1.597	2.671	
17	6.301	3	-0.230	1.596	2.670	
18	6.370	3	-0.229	1.595	2.670	
19	6.426	3	-0.229	1.594	2.669	
20	6.480	3	-0.229	1.594	2.669	
21	6.548	3	-0.225	1.592	2.670	
22	6.609	3	-0.222	1.591	2.670	
23	6.672	3	-0.221	1.591	2.670	
24	6.729	3	-0.219	1.591	2.671	
25	6.784	3	-0.218	1.592	2.673	

Рис. 17. Вид таблицы с исходными данными (точка записи - голова), полученными с помощью Kinect recorder - файл формата .csv.



### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

Цель раздела – комплексное описание и проведения анализа финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо провести расчет полных денежных затрат на исследование, а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

#### **3.1. Предпроектный анализ**

##### **3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Разрабатываемый метод с использованием виртуальной реальности и средств захвата движений предназначен для единственной области применения -это медицина, а точнее неврология.

Составим карту сегментирования рынка.

Таблица 1.1 – Карты сегментирования рынка

	Для чего используется	
	Исследования	Диагностика
Физические лица		
Научно – исследовательские центры		
Медицинские учреждения		



Сегмент освоен

Сегмент освоен слабо

Сегмент не освоен или информация не найдена

Исходя из карты сегментирования, можно сказать, что данная разработка находится в сегменте, который освоен научно-исследовательскими и

медицинскими учреждениями для исследований и пока слабо освоен медучреждениями для диагностики.

Несмотря на эти данные, для реализации и внедрения устройства имеется большой потенциал, так как данная методика позволяет оценить функциональное состояние системы поддержания равновесия человека и помочь выявить потенциальные нарушения для дальнейшей углубленной неврологической диагностики и начала лечения патологий на ранних стадиях.

### ***3.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения***

Во всем мире нет коммерческих аналогов разрабатываемой методики диагностики состояния системы поддержания равновесия человека. В США на научно-исследовательском этапе есть аналогичный проект для оценки тремора рук с использованием устройства безмаркерного захвата движений рук Leap Motion с программным обеспечением Orion. В России аналогов нет.

Разрабатываемый метод является перспективным, поскольку позволяет на практике изучить взаимодействие компонентов, входящих в состав системы поддержания равновесия тела человека (вестибулярный аппарат, зрительный анализатор, проприоцептивная чувствительность нижних конечностей (ступней)) и их влияние друг на друга. Данный метод позволяет на ранних стадиях выявлять нарушения функционального состояния системы поддержания равновесия человека и может использоваться в научных целях и клинических исследованиях, для диагностики пациентов неврологических стационаров.

Проводить анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения удобно с помощью оценочной карты (таблица 1.2). Это необходимо для оценки сравнительной эффективности научной разработки и определения направления ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1.2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Наиболее конкурентными разработками для разрабатываемого комплекса являются: проект для оценки тремора рук на основе Leap Motion с использованием программного обеспечения Orion.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = B_i * B_i \quad (1.2)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.



Таблица 1.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
3. Помехоустойчивость	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
4. Энергоэкономичность	0,09	4	3	3	0,36	0,27	0,27
5. Надежность	0,09	5	2	3	0,45	0,18	0,27
6. Уровень шума	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
7. Безопасность	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
10. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
11. Массогабаритные параметры устройства	0,02	3	3	3	0,06	0,06	0,06
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	3	2	0,16	0,12	0,08
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	3	2	0,06	0,09	0,06
3. Цена	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
5. Послепродажное обслуживание	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
6. Срок выхода на рынок	0,02	1	3	3	0,02	0,06	0,06
7. Наличие сертификации разработки	0,09	2	5	5	0,18	0,45	0,45
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>71</b>	<b>65</b>	<b>59</b>	<b>4,14</b>	<b>3,66</b>	<b>3,41</b>

Исходя из результатов анализа таблицы 1.2, можно сделать вывод, что разрабатываемый метод на данном этапе достаточно конкурентоспособен. Разрабатываемый проект является перспективным, поскольку главными его преимуществами являются высокая надёжность его работы, простота в использовании и доступность.

### **3.1.3. FAST-анализ**

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

#### **1. Выбор объекта FAST-анализа;**

Объектом FAST-анализа является многопараметрический комплекс, использующий разработанное виртуальное окружение для оценки и исследования состояния системы поддержания равновесия человека.

#### **2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;**

- 1) В качестве *главной функции* выступает сама по себе диагностика, то есть каким образом будет сделана сцена виртуальной реальности.
- 2) Основная функция. Принцип работы заключается в приеме сигнала движения на Kinect и Leap Motion от пациентов, которые находятся под влиянием виртуальной реальности, и обработке полученных данных.
- 3) Вспомогательная функция, способствует реализации основных функций. Вся информация представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3. – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование аппарата	Количество	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Компьютер	1	Обеспечивает работу программного обеспечения	X		
Очки VR Shinecon	1	Служат для визуализации виртуальной реальности		X	
Kinect	1	Служит для отслеживания движений пациента		X	
Leap Motion	1	Служит для отслеживания движений рук		X	
Компьютерная мышь	1	Служит для помощи в использовании оборудования			X

В таблице 1.3. приведены все детали работы, которые используются при реабилитации. Данная классификация будет использоваться при оптимизации объекта исследования. Так как для повышения эффективности этого процесса путем снижения стоимости объекта и сохранения требуемого от него пользователем качества, необходимо, в первую очередь, обращать внимание на вспомогательные функции, экономия на которых не сильно отразится на функционале объекта научного исследования.

### 3. Определение значимости выполняемых функций объектом;

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции.

*Матрица смежности*

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5
Функция 1	=	=	=	=	<
Функция 2	=	=	=	=	<
Функция 3	=	=	=	=	<
Функция 4	=	=	=	=	<
Функция 5	>	>	>	>	=

Матрица смежности отражает, что функция 5 не достаточно важна по отношению к другим функциям.

*Матрица количественных соотношений функций*

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	Итого
Функция 1	1	1	1	1	0,5	4,5
Функция 2	1	1	1	1	0,5	4,5
Функция 3	1	1	1	1	0,5	4,5
Функция 4	1	1	1	1	0,5	4,5
Функция 5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	3
						21

В рамках третьего этапа происходит определение значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для функции 1 относительная значимость равна  $4,5/21 = 0,21$ ; для функции 2 –  $4,5/21 = 0,21$ ; для функции 3 –  $0,21$ , для функции 4 –  $0,21$  и для функции 5 –  $0,16$ . Обязательным условием является то, что сумма коэффициентов значимости всех функций должна равняться 1.

#### **4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования;**

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью специальных методов оценить уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделать это возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в табл. 1. 5.

Таблица 1.5. Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали	Количество	Выполняемая функция	Стоимость материала	Себестоимость
Компьютер	1	Обеспечивает работу программного обеспечения	34499	34499
Очки	1	Служат для визуализации виртуальной реальности	9000	9000
Kinect	1	Отслеживает движения пациента	7790	7790
Leap Motion	1	Отслеживает движения рук	4990	4990
Мышь	1	Служит для помощи в использовании оборудования	500	500
Итого				56779

Путем суммирования затрат по каждой функции определяется общая стоимость каждой из них. Данная информация используется для построения функционально-стоимостной диаграммы на следующей стадии.

Относительные затраты составляют:

Функция 1 – 0,6, функция 2 – 0,16, функция 3 – 0,13, функция 4 – 0,088, функция 5 – 0,009.

## 5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) (рис. 38)

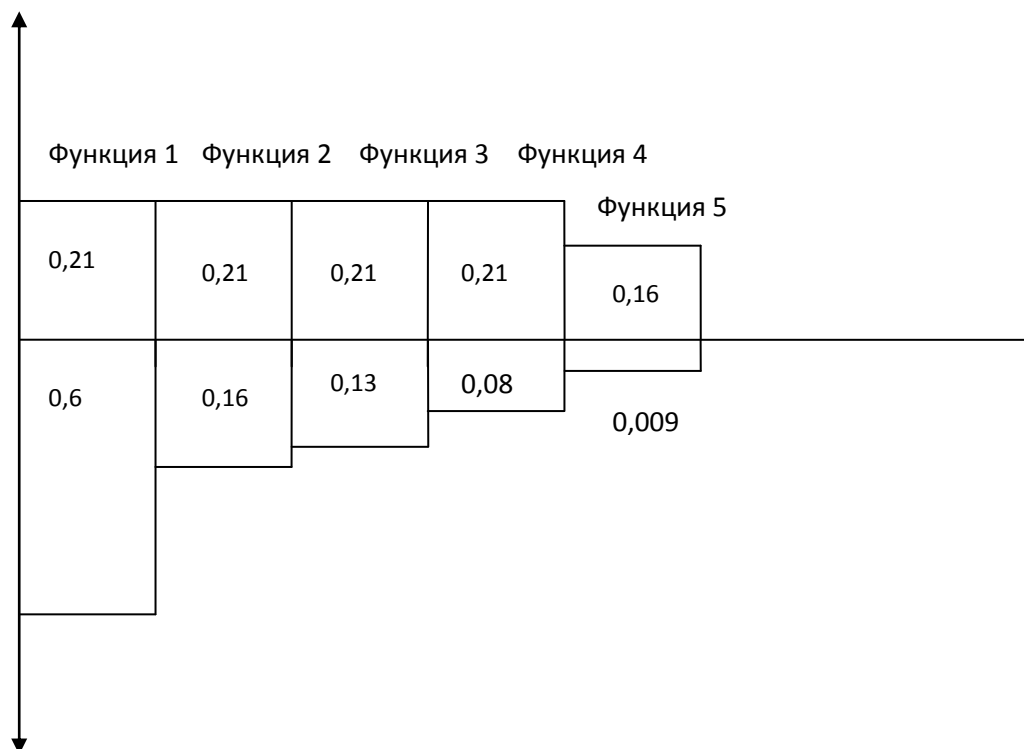


Рис. 38. Функционально-стоимостная диаграмма

Из анализа данной диаграммы можно сказать, что наибольшие затраты приходятся на компьютер для работы с программным обеспечением.

## 6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

В качестве конкретных шагов, которые необходимо предложить на данном этапе, должны выступать предложения связанные с экономией за счет:

- оптимизации технических параметров для уменьшения стоимости комплектующих компьютера;
- оптимизации параметров надежности;
- повышения ремонтпригодности;

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;

#### **3.1.4. SWOT-анализ**

SWOT анализ (перевод с англ. swot analysis) — один из самых эффективных инструментов в стратегическом менеджменте. Сущность SWOT-анализа заключается в анализе внутренних и внешних факторов компании, оценке рисков и конкурентоспособности товара в отрасли. Успех в достижении стратегических целей научно исследовательской работы обеспечивается получением синергетических эффектов выгоды от вертикальной интеграции, выгоды от диверсификации, от доступа к новым каналам сбыта продукции и технологиям, увеличение доли на рынке. Анализ проводится в несколько этапов. Результаты представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – SWOT-анализ реализации проекта.

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1.Более глубокая интеграция средств визуализации ВР и захвата движений для получения большего количества данных для дальнейшей обработки; С2.Обширная база пациентов; С3.Высокий уровень квалификации руководящих сотрудников предприятия.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл.2. Сложности в процессе сертификации медицинского оборудования
<b>Возможности:</b> В1.Увеличение мобильности метода В2.Увеличение точности благодаря инновационным достижениям В3.Рост заинтересованности меучреждений в системах виртуальной реальности медицинской направленности В4.Выход на зарубежные рынки		
<b>Угрозы:</b> У1.Появление новых конкурентов У2.Открытие более развитых технологий		

Таким образом, в таблице 1.6. выявили слабые, сильные стороны проекта, возможности и угрозы.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.



Таблица 1.7 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	0
	B2	+	+	+
	B3	+	+	+
	B4	0	+	+
Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	
	У1	-	+	
	У2	-	+	

Из таблицы 1.7 можем сделать вывод, что возможность №3 коррелирует с сильными сторонами проекта C1,2,3, возможности B1 и B2 – с сторонами C1 и C2, B4 – с C2 и C3, а угрозы У1 и У2 – со слабой стороной Сл2.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 1.8 – SWOT-анализ.

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1.Развитая научная, социальная инфраструктура; С2.Обширная база пациентов; С3.Высокий уровень квалификации руководящих сотрудников предприятия.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл.2. Сложности в процессе сертификации медицинского оборудования
<b>Возможности:</b> В1.Увеличение мобильности метода В2.Увеличение точности благодаря инновационным достижениям В3.Рост заинтересованности медучреждений в системах виртуальной реальности медицинской направленности В4.Выход на зарубежные рынки	Благодаря наличию развитой научной инфраструктуры, обширной базы пациентов, высокому уровню квалификации происходит рост заинтересованности медучреждений в разработке	Рост заинтересованности медучреждений в данной разработке может способствовать появлению у потенциальных потребителей квалифицированных кадров.
<b>Угрозы:</b> У1.Появление новых конкурентов У2.Открытие более развитых технологий	Благодаря обширной базе пациентов и развитой научной инфраструктуре снижается вероятность появления конкурентов	Выход на зарубежные рынки может способствовать появлению среди потребителей за рубежом квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.

Из итоговой матрицы SWOT можно сделать вывод, что возможности В1,В2,В4 коррелируют с сильными сторонами проекта С1,С2,С3, что говорит об их единой природе. Увеличение мобильности системы и точности снятия данных вследствие инноваций в производстве компонентов системы , а также выход на международный рынок возможны для данных сильных сторон. Так же прослеживается корреляция между слабой стороной Сл2 и Угрозами У1 и У2, что означает, что при сложностях в сертификации

системы в настоящих условиях при появлении новых конкурентов или открытии более развитых технологий, которые они могут использовать раньше разработчиков данной системы, конкуренты могут занять соответствующую нишу на рынке раньше.

### **3.1.5. Диаграмма Исикава**

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области/темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы.

Затем выявляются факторы/группы факторов, влияющие на объект анализа. Часто, для выявления таких факторов используется прием 6М:

- персонал (Manpower);
- оборудование (Machine);
- сырье, материалы, комплектующие (Material);
- технология проведения работ (Method);
- средства измерения и методы контроля (Measurement);
- производственная среда (Media).

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

Далее к каждой стрелке подводят стрелки второго уровня, к которым, в свою очередь, подводят стрелки третьего уровня и т. д. до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа. Каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня.

Степень детализации диаграммы (количество факторов и причинно-следственных уровней) определяет разработчик диаграммы. Наклон и размер стрелок не имеют значения.

Диаграмма Исикава для разрабатываемого виртуального окружения представлена на рис. 39.

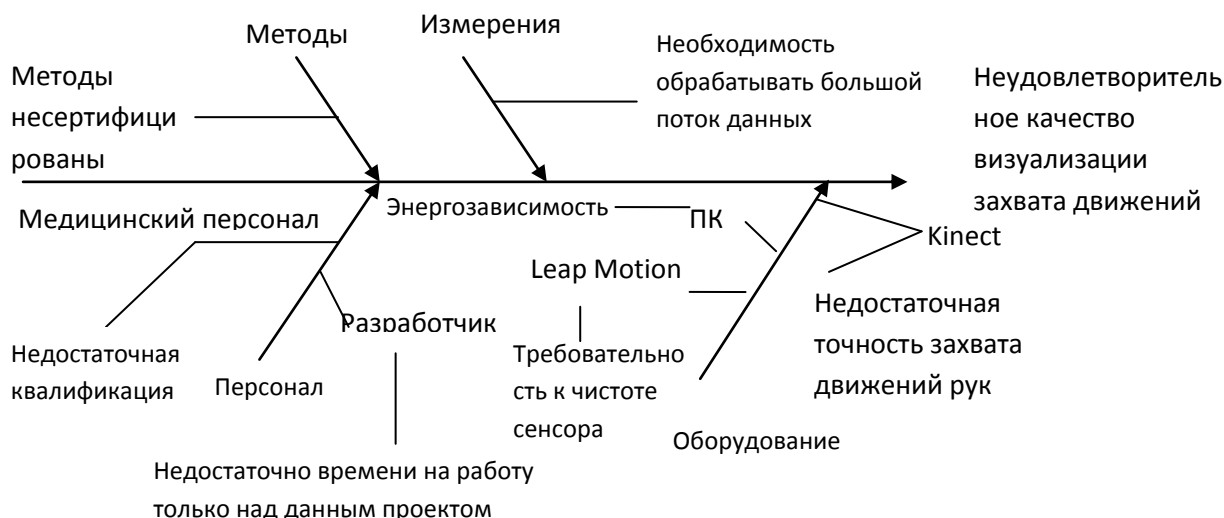


Рис. 39. Диаграмма Исикава для разрабатываемого виртуального окружения  
На данной диаграмме изображены причины получения визуализации виртуальной реальности неудовлетворительного качества.

### 3.1.6. Оценка готовности проекта к коммерциализации

При разработке оборудования полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации и выявить возможность ее самостоятельного проведения или завершения. Для проведения оценки необходимо заполнить специальную форму оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. В таблице 1.6 представлен перечень вопросов, по которым необходимо произвести оценку.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации определяется по формуле:

$$B_{\text{СУМ}} = \sum B_i \quad (1.1)$$

где  $B_{\text{СУМ}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  
 $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Таблица 1.9 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.Определены перспективные направления коммерциализации	4	3
3.Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
4.Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5.Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8.Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>26</b>	<b>25</b>

На основе данных, представленных в таблице 1.9, можно говорить о том, что проект не готов к коммерциализации, так как имеет ряд недоработок, устраняемых научной группой.

### **3.2. Инициация проекта**

#### **3.2.1. Цели и результаты проекта**

В таблице 1.10 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта.

Таблица 1.10 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель по проекту	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере.
Организация-заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Развитие российских научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 1.11 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей. По результатам выполнения разработки, планируется, что ожидания заинтересованных сторон будут удовлетворены.

Таблица 1.11 – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта:</b>	Разработка методики диагностики функционального состояния системы поддержания равновесия человека с помощью виртуального окружения
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение готового рабочего программного обеспечения
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Хорошая отзывчивость, точность и работоспособность системы
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b> Хорошая отзывчивость Точность распознавания жестов Работоспособность системы

На основе данных таблицы 1.11 планируется, что в итоге по результатам разработки будет получено готовое программное обеспечение для применения в исследовании и диагностике расстройств функции равновесия.

### **3.2.2. Организационная структура проекта**

В таблице 1.12 приведена информация о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатратах каждого.

Таблица 1.12 – Рабочая группа проекта

<b>Роль в проекте</b>	<b>Функции</b>	<b>Трудозатраты, дней</b>
1. Научный руководитель	Постановка задачи и целей проекта, консультирование исполнителей проекта, помощь при освоении новых технологий, участие в обсуждениях по результатам работы	20
2. Студент	Обзор литературы о существующих технологиях виртуальной реальности, безмаркерного захвата движений и методах диагностики нарушений равновесия и координации движений, необходимые настройки устройств, изучение работы необходимого программного обеспечения, участие в обсуждениях результатов работы	75
ИТОГО		95

Из таблицы 1.12. можем сказать, что на постановку задач и целей проекта, консультирование и обсуждение результатов научным руководителем было затрачено 20 рабочих дней, студентом-исполнителем на выполнение проекта затрачено 75 рабочих дней.

### **3.2.3. Ограничения и допущения проекта**

Данные об ограничениях и допущениях проекта представлены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/допущения</b>
1. Бюджет проекта	59618 р.
1.1. Источник финансирования	Кафедра медицинской и биологической кибернетики, СибГМУ
2. Сроки проекта	01.03.2016-15.06.2017
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.03.2017
2.2. Дата завершения проекта	17.06.2017
3. Прочие ограничения и допущения	Ограниченное время работы за ПК, связанное с вредным влиянием ЭМ излучения

Из таблицы 1.13 можем ознакомиться с ограничениями и допущениями – сроками выполнения и бюджетом проекта, источником финансирования и ограничивающими факторами (влияние электромагнитного излучения)



### ***3.3. Планирование управления научно-техническим проектом***

#### ***3.3.1. План проекта***












Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения. Планирование этапов работ по выполнению НИР включает в себя составление перечня этапов и работ, а также распределение исполнителей по всем видам работ.

В таблице 1.14 приведены основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей. В таблице 1.15, которая представляет собой диаграмму Ганта, приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе. График строится с разбивкой по месяцам (30 дней) за период времени выполнения научного проекта

Таблица 1.14. – Основные этапы и содержание работ с распределением ответственных исполнителей

Код работы  (из ИСР)	Вид работы	Исполнители	Период работы научного руководителя		Период работы инженера	
			Начало, дата	Длительность, дни	Начало, дата	Длительность, дни
1	Постановка задачи	НР	09.01.2017	1	-	-
2	Анализ технического задания (ТЗ)	НР, С	27.02.2017	1	27.02.2017	3
3	Подбор и изучение литературы по теме исследования	С	-	-	05.03.2017	10
4	Изучение методов диагностики нарушений равновесия	С	-	-	15.03.2017	3
5	Изучения программ для визуализации виртуальной среды	С	-	-	18.03.2017	8
6	Выбор платформы для реализации проекта	С	-	-	25.03.2017	3
7	Поиск пакетов алгоритмов и объектов для решения задач визуализации	НР, С	10.04.2017	3	28.03.2017	12
8	Написание скриптов для определения сценариев поведения объектов	НР, С	13.04.2017	1	13.04.2017	1
9	Испытание полученных результатов	НР, С	14.05.2017	10	14.04.2017	41
10	Оформление расчетно-пояснительной записки	С	-	-	25.05.2017	10
11	Сдача разработки и отчета о работе	НР, С	04.06.2017	11	04.06.2017	11

Таблица 1.15 – Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Постановка задачи	1	-														
Анализ технического задания (ТЗ)	1	3														
Подбор и изучение литературы по теме исследования	-	10														
Изучение методов диагностики нарушений функции равновесия	-	3														
Изучения программ для разработки виртуального окружения	-	8														
Выбор платформы для реализации проекта	-	3														
Поиск пакетов алгоритмов и объектов для решения задач визуализации	3	12														
Написание скриптов для определения сценариев поведения объектов	1	1														
Испытание полученных результатов	10	41														
Оформление расчетно-пояснительной записки	-	10														
Сдача разработки и отчета о работе	11	11														

 - НР (Научный руководитель);

 - С (Студент)

### 3.3.2. Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

#### *Сырье, материалы, покупные изделия*

Стоимость всех видов и материалов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из стоимости приобретения и платы за транспортировку. Транспортно – заготовительные расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). В том случае, если расходы, связанные с доставкой материальных ресурсов незначительны, то их можно опустить.

Стоимость специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Сырье и материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Kinect	7790	1 шт	7790
Leap Motion	4990	1 шт	4990
Компьютер	34999	1 шт	34999
Очки VR Shinecon	9000	1 шт	9000
<b><i>Всего за материалы:</i></b>			56779
<b><i>Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)</i></b>			2839
<b><i>Итого по статье С<sub>м</sub></i></b>			59618

Из данных таблицы 1.16 можем после расчетов определить сумму, затраченную на покупку специального оборудования и материалов, а также транспортно-заготовительные расходы. Стоимость специального оборудования, комплектующих изделий равна 59618 руб.

### **3.3.3. Основная заработная плата научно-производственного персонала**

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада (МО) исполнителя.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (1.3.1)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб}, \quad (1.3.2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} * M}{F_{д}} \quad (1.3.3)$$

где  $Z_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней.

Таблица 1.17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	110	110
Количество нерабочих дней: - выходные дни - праздничные дни	20 3	32 3
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	87	75

Из таблицы 1.17 можем сказать, что календарное число дней, от начала до конца проекта составило 110 дней, из них действительный годовой фонд рабочего времени научного руководителя составил 87 дней, студента 75.

Для учета премий в составе заработной плате, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$ ;  $K_{\text{р}} = 1,3$ . Таким образом, для перехода от базовой суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ .

Расчеты затрат на заработную плату приведены в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Затраты на заработную плату

Исполни тель	Оклад, руб./мес.	Средняя дневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/п, руб.
Научный руководи тель	23264,86	936,97	20	1,669	31276,06
Инженер	9893,56	398,45	75	1,669	49875,98
Итого:					81152,04

Из расчетов, сделанных по данным таблицы 1.18 можем сказать, что фонд основной заработной платы составляет 81152,04 руб. Учитываем, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

### **3.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала**

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} \quad (1.3.4)$$

$K_{\text{доп}}$  –коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 1.19 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 1.19 – Заработная плата исполнителей НИР

<b>Заработная плата</b>	<b>Научный руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Основная зарплата	31276,06	49875,98
Дополнительная зарплата	3127,6	4987,6
Зарплата исполнителей	34403,66	54863,58
<i>Итого по статье <math>C_{3п}</math></i>	89267,24	

Из расчетов, сделанных на основании данных из таблицы 1.19 видим, что заработная плата исполнителей с учетом дополнительной составляющей равна 89267.24 р.

### **3.3.5. Отчисления на социальные нужды**

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды, такие как ПФ страхования, который равен – 22%, ФФОМС – 5,1%, ФСС по временной нетрудоспособности и в связи с материнством- 2,9%, ФСС НС - 0,2%-8,5%(в данном случае берем 0,02% так как при разработке нет опасных факторов).

Следовательно, общий коэффициент отчисления будет равен 30,2%

$$C_{\text{ВНЕБ}} = k_{\text{ВНЕБ}} * (З_{\text{ОСН}} + З_{\text{ДОП}}), \quad (1.3.5)$$

где  $k_{\text{ВНЕБ}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды,

$$C_{\text{ВНЕБ}} = 0,302 * 89267,24 = 26958,7 \text{ руб.}$$

Сумма отчислений во внебюджетные фонды составляет 26958,7 руб.

### **3.3.6. Накладные расходы**

В данную статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Коэффициент накладных расходов составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (1.3.6)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * (89267,24) = 71413,8 \text{ руб.} \quad (1.3.7)$$

Сумма накладных расходов составляет 71413,8 руб.



### 3.3.7. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 1.20 - Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма,руб.
Материалы и покупные изделия	Смат	59618
Основная заработная плата	Сзп	81152,04
Дополнительная заработная плата	Сдоп	8115,2
Отчисления на социальные нужды	Ссоц	26958,7
Накладные расходы	Снакл	71413,8
<b>Итого:</b>		<b>247257,74</b>

Исходя из расчетов на основе данных таблицы 1.20, затраты на разработку составили  $C = 247257,74$  руб.

### 3.4. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где  $I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки,  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$  – го варианта исполнения,  $\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^p,$$

где

$I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов,  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра,  $b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Таблица 1.21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Leap motion+Orion
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4
3. Помехоустойчивость	0,2	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4
5. Надежность	0,3	5	4
6. Материалоемкость	0,1	2	2
ИТОГО	1	24	22

На основе данных таблицы 1.21 можем провести расчет интегральных показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей проекта.

$$I_{\text{тп}} = 0,1 * 4 + 0,15 * 5 + 0,2 * 4 + 0,15 * 4 + 0,3 * 5 + 0,1 * 2 = 4,25,$$

$$Pr+o=0,1*4+0,15*4+0,2*4+0,15*4+0,3*5+0,1*2=4,1$$

Следовательно, интегральный показатель равен 4,25. Текущий проект имеет более высокий интегральный показатель, что указывает на то, что среди существующих аналогов лучше на данный момент пока что нет.

## ***Вывод***

Эффективность данного проекта заключается в том, что эта работа позволяет оценить функциональное состояние системы поддержания равновесия человека. Разрабатываемая методика позволяет в качественном виде получить информацию о нарушениях равновесия и координации движений, которые могут свидетельствовать о наличии и развитии таких серьезных заболеваний как болезнь Паркинсона и рассеянный склероз, выявить их на ранних стадиях, что позволит в свою очередь замедлить их развитие и сохранить качество жизни пациентов на высоком уровне.

После проведения предпроектного анализа, была составлена карта сегментирования рынка, из которой видно, что основная ниша — это неврология. Так же был проведен анализ конкурентных технических решений, рассмотрены существующие аналоги текущего проекта, такие как, проект оценки тремора рук на основе Leap Motion. Была составлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений, вывод из которой можно сделать, что разрабатываемый метод конкурентоспособен, даже лучше некоторых аналогов.

В инициации проекта была представлена информация о заинтересованных сторонах проекта: руководитель проекта, исполнитель по проекту, организация/заказчик, спонсор проекта. Представили иерархию целей проекта и критерий достижения целей, привели информацию о рабочей группе проекта, ролях, функциях и трудозатрат каждого. Так же были рассмотрены ограничение и допущения проекта, такие как, бюджет-59618р, сроки проекта 01.03.2017-15.06.2017, дата утверждения плана управления проектом-01.03.2017 и дата завершения проекта-17.06.2017, а также ограничение по времени работы за персональным компьютером (данное ограничение связано с негативным влиянием ЭМ излучения на человека). С учетом информации о рабочей группе проекта, ролях, функциях, был составлен календарный план, в котором были приведены основные этапы и содержания работ с распределением ответственных исполнителей,

так же была составлена диаграмма Ганта, на которой можно наглядно увидеть занятость исполнителей на том или ином этапе.

Так же был проведен расчет бюджета научного исследования, который составил 59618 рублей. Статья расходов включает заработную плату научного руководителя и исполнителя проекта – 81152,04 рублей. Рассчитана дополнительная заработная плата научно-производственного персонала, которая составила 8115,2 рублей. Был произведен расчет отчислений во внебюджетные фонды, это 30,2% с основной и дополнительной зарплатой, что составляет 26958,7 рублей. Произведя расчет общей себестоимости разработки, которая включает в себя затраты на материалы и покупные изделия, основную заработную плату, дополнительную заработную плату, отчисления на социальные нужды, а также накладные расходы (которые составили 71413,8 рублей), получается 247257,74 рублей, что является самым дешевым среди аналогов.

Проведя оценку сравнительной эффективности исследования, интегральный показатель текущего проекта составил 4,25, в то время как интегральный показатель конкурента Leap Motion с программным обеспечением Orion составил 4,1, следует сделать вывод, что данная разработка является самой дешевой и эффективной на сегодняшний момент. Так же, при использовании в дальнейшем, разрабатываемого комплекса, не будет затратным, так как не требуется расходных материалов, замену составляющих (провода). Используемые устройства достаточно надежны для долгой эксплуатации.

### **Список публикаций студента**

Tolmachev I., Brazovsky, K., Schadenko, S., Korzhenkova, E. Sensory dissociation in vestibular function assessment // IV Russian Forum for Young Scientists with International Participation “Space Engineering”. – MATEC Web of Conferences, 2016. – Т. 48.